

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta Strojní
Katedra robototechniky

Návrh mobilního robotu pro soutěž robotů

Design of Mobile Robot for Robotics Competition

Student:
Vedoucí bakalářské práce:

Jakub Mžik
Prof. Dr. Ing. Petr Novák

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Mžík**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: **Návrh mobilního robotu pro soutěž robotů**
Design of Mobile Robot for Robotics Competition

Zásady pro vypracování:

1. Provedt' řešerši robotických soutěží a analyzujte ji z pohledu požadavků na robot.
2. Specifikujte požadavky na HW mobilního robotu pro vybraný typ soutěže/soutěží.
3. Navrhněte strojní část robotu včetně výkresové dokumentace.
4. Navrhněte senzorický a akční subsystém robotu.

Seznam doporučené odborné literatury:

NOVÁK, P. Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení. 1. vydání. Praha: BEN Praha, 2005. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.

KÁRNÍK, L. - KNOFLÍČEK, R. - MARCINČIN, J. N. Mobilní roboty. 1. vydání. Opava: Márfy Slezsko, 2000. 212 s. ISBN 80-902746-2-5.

Internet

ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Dr.Ing. Petr Novák**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



prof. Dr.Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Jakub Mžik

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Jakub Mžík

Jakub Mžík

U Stanoviště 1122

735 53, Dolní Lutyně

Anotace bakalářské práce

MŽIK, J. *Návrh mobilního robotu pro soutěž robotů: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB –Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2011, 56s. Vedoucí práce: Novák, P.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem šestikolového podvozku určeného pro soutěže mobilních robotů. V úvodu je uveden přehled soutěží mobilních robotů konaných jak v České republice, tak ve světě. Součástí návrhu jsou tři možné varianty řešení a výběr optimální varianty pomocí hodnotové analýzy. Je navržen senzorický a řídicí subsystém robotu. Jsou uvedeny výpočty jízdní dynamiky. Podvozek je uveden do 3D podoby pomocí CAD systému PRO/Engineer Wildfire 5.0.

Annotation of bachelor thesis

MŽIK, J. *Design of Mobile Robot for Robotics Competition: bachelor thesis.* Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2011, 56p. Thesis head: Novák, P.

Bachelor thesis deals with the construction design of the six-wheeled chassis intended for mobile robot competitions. The introduction provides a review of mobile robot competitions held in Czech Republic and in the world. Parts of the design are three solution alternatives and the selection of the optimal one by value analysis. The sensor and control subsystem is designed. Calculations of drive dynamics are set. Chassis is transferred to 3D model using PRO/Engineer Wildfire 5.0.

Obsah

1	Úvod	7
2	Zahraniční soutěže	7
2.1	Robocup	7
2.2	Robotchallenge	10
2.3	Eurobot	11
2.4	Field Robot	12
2.5	DARPA Grand Challenge	13
2.6	DARPA Urban Challenge	14
2.7	Mini Grand Challenge	14
2.8	Istrobot.....	14
2.9	ICRA Robot Challenge.....	15
2.10	Micro Air Vehicle Competition	17
3	Domácí soutěže	19
3.1	Robotour	19
3.2	Roboorienteering.....	20
3.3	Robotem rovně	20
3.4	FIRA Cup.....	21
4	Vhodné soutěže	21
5	Požadavkový list:	23
6	Varianty řešení.....	24
6.1	Varianta 1	24
6.2	Varianta 2	26
6.3	Varianta 3	28
7	Hodnotová analýza	30
8	Konstrukční návrh optimální varianty.....	33
8.1	Rám	34
8.2	Panty.....	35

8.3	Kola s integrovaným pohonem	36
8.4	Příruby kol.....	37
8.5	Patky.....	37
8.6	Nastavení světlé výšky.....	38
8.7	Kinematika podvozku	39
9	Návrh senzorického a řídicího subsystému	40
10	Výpočetní část	43
10.1	Výpočet stoupavosti.....	43
10.2	Výpočet maximální výšky překážky.....	46
11	Realizace	50
12	Závěr.....	52
13	Citovaná literatura.....	53
14	Seznam příloh.....	56

1 Úvod

Robotika je nesmírně rychle se rozvíjející interdisciplinární obor. Není proto divu, že po celém světě vzniká řada soutěží, které poskytují jednotlivcům i týmům prostor k seberealizaci, získávání zkušeností, testování nových progresivních prvků.

Úkolem této bakalářské práce je konstrukce podvozku pro soutěžního robot. V prvních několika kapitolách je nabídnut přehled největších mezinárodních soutěží, poté soutěží domácích, je vytipováno několik soutěží vhodných pro katedru robototechniky. Poté jsou zpracovány tři varianty řešení a výběr optimální varianty pomocí hodnotové analýzy. Následně je rozpracována optimální varianta, provedeny výpočty jízdní dynamiky a uvedeny zkušenosti z realizace.

2 Zahraniční soutěže

2.1 Robocup [7]

Mezinárodní, původem japonská, robotická soutěž s pravděpodobně nejdelší tradicí. Její základy byly položeny již v roce 1993. Skupina japonských vědců se tehdy rozhodla založit Japonskou Fotbalovou Robotickou Ligu (Robot J-League), jako prostředek k technologickému pokroku jak robotů, tak jejich řízení a umělé inteligence. Po ohlasech z celého světa, jež se dožadovaly mezinárodního rozměru této akce, byl projekt přejmenován na Robot World Cup Initiative, zkráceně Robocup.

Jeho základním cílem je sestavit do poloviny 21. století tým humanoidních robotů, kteří vyhrají fotbalový zápas s aktuálními mistry světa ve fotbale, to vše podle oficiálních pravidel FIFA. [8]

Po Pre-Robocupu v roce 1996 a prvním Robocupu 1997 se tato soutěž koná každým rokem, a to po celém světě (Japonsko, Francie, Austrálie, USA, Singapur, atd.).

Robocup zastřešuje několik podsoutěží:

RoboCup Soccer (Obr. 1)

Fotbalová kategorie - základní pilíř soutěží a výzkumu, která zahrnuje několik lig:

- simulační (zápasy probíhají virtuálně)
- malé roboty

- střední roboty
- humanoidní roboty
- standardní platformy (všechny týmy používají stejné roboty, rozdíl je v programování)

RoboCup@Home

Soustředí se na aplikace z reálného prostředí a interakci mezi člověkem a robotem. Zaměřuje se na vývoj použitelných robotických aplikací, které mohou pomáhat člověku každý den. Ze začátku je prostředí tvořeno obývacím pokojem a kuchyní, později bude zahrnovat lokace, jako je zahrada, park, obchod, ulice apod.

RoboCup Junior

Soutěž zaměřená na výuku studentů do věku 19 let. Zahrnuje kategorie fotbal, tanec a záchranářské práce.



Obr. 1 - Robocup Soccer - humanoidní roboty

RoboCup Rescue [9]

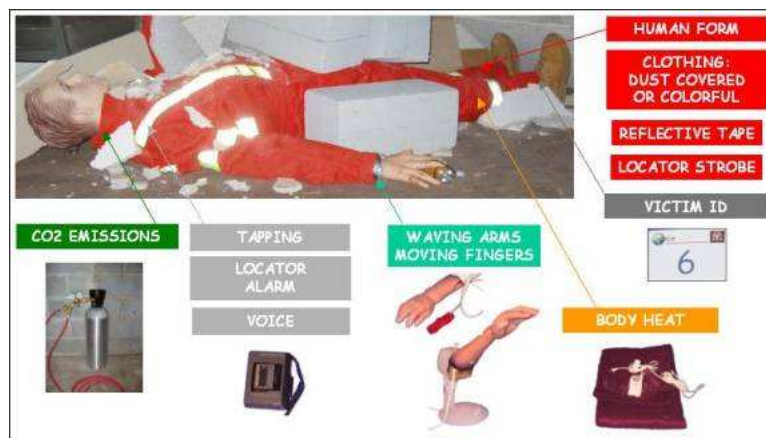
Zaměřuje se na výzkum a vývoj v oblasti záchranných operací (SAR – Search and Rescue). Při nich se v nepřátelském prostředí setkává celá řada různých činitelů – lidí, zařízení, strategií, organizačních činitelů. Cílí tedy na vývoj na mnoha úrovních – robotizované platformy pro záchranné práce, jejich vzájemná spolupráce, komunikační infrastruktury, „inteligentní“ strategie, jejich vyhodnocování. S těmi všemi se počítá pro budoucí záchranné operace. Zároveň je příležitostí ke spolupráci a sdílení zkušeností mezi zúčastněnými.

Vize je taková, že roboty by v budoucnu měly zajišťovat např.:

- Autonomní prohledávání poškozených či zhroutených budov
- Nalezení obětí a zjištění jejich stavu
- Generaci map prostředí
- Zajištění výživy a komunikace
- Identifikaci nebezpečí
- Rozmístění senzorů (akustických, termálních, seismických...)
- Zpevnění budovy

To vše při minimalizaci rizika ztrát na životech.

Soutěžní arény jsou rozděleny dle náročnosti na žlutou, oranžovou a červenou, čímž se týmům nabízí neustálý prostor k vylepšování. Překážky, jako je převrhnutý nábytek, suť, schody, jsou náročným testem pro podvozek robotů, zatímco různé „matoucí“ prvky mají za úkol zmást senzoriku robotu. Úkolem je prozkoumat každý roh v aréně a najít oběti – oblečené figuríny, které simulují známky života, jako je tepelné vyzařování, křik, klepání, či dokonce vypouštění oxidu uhličitého (coby simulace dýchání).



Obr. 2 - Robocup Rescue - příklad oběti



Obr. 3 - Robocup Rescue - Soutěžní robot

2.2 Robotchallenge [10]

Jedna ze světově největších soutěží autonomních mobilních robotů vlastní výroby. Na ročníku 2011 ve Vídni se očekává účast až 500 robotů. Základní idejí soutěže je inspirovat a motivovat mladé lidi k účasti ve vývoji technologií, vědě a výzkumu.

Soutěž se dělí do šesti kategorií:

- **Sledování čáry** – cílem je co nejrychleji sledovat černou čáru na bílém podkladu.
- **Pokročilé sledování čáry** – ke kategorii výše jsou přidány tři prvky: tunel (špatné světelné podmínky), přerušení (čára bude přerušena cca 10 cm), překážka (na trase bude položena cihla, robot ji musí objet). (Obr. 4)



Obr. 4 - Robotchallenge - překážky

- **Robot Sumo** – úkolem dvojice soupeřících robotů je vytlačit soupeře z hřiště.



Obr. 5 - Robotchallenge - Sumo

- **Sběr puků** – úkolem dvojice soupeřících robotů je sběr co nejvíce puků vlastní barvy a jejich přesun na „domácí metu“.
- **Humanoidní sprint** – humanoidní roboty (kráčeující / běžící – dvounozí, maximální velikost 50x20x20 cm) mají za úkol co nejrychleji přejít (přeběhnout) 210 cm dráhu, na konci se otočit a běžet zpátky. Vyhrává nejrychlejší robot.

- **Volná disciplína** – autoři robotů zde dostávají příležitost předvést schopnosti robotu, které nemohly být využity v předchozích kategoriích.

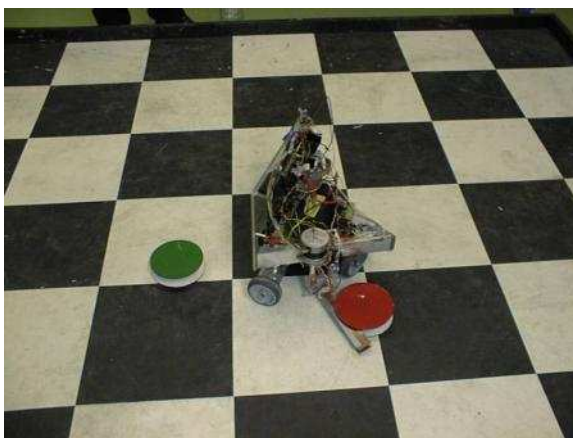
2.3 **Eurobot** [11]

Mezinárodní soutěž pořádaná Planete Sciences, francouzskou organizací na podporu mladých techniků, v rámci každoročního festivalu ARTEC (Art and Technology). Mezinárodní části soutěže předchází část národní (v ČR pořádaná Katedrou softwarového inženýrství MFF UK)

Soutěž má každý rok nová pravidla, což znamená, že je nutné poměrně rychle vytvořit strategii a roboty splňující podmínky. Několik základních rysů však zůstává: hrací plocha je velká zhruba 3x2m, soupeří vždy dva týmy proti sobě a časový limit je 90 sekund.

Příklady pravidel [12]:

- 2001 – **Space Odyssey** – roboty měly za úkol obsazovat planety (položít vlaječku na různě vysoké barevné válce).
- 2003 – **Heads or Tails** (Panna nebo orel) – úkolem je otočit co nejvíce cívek správnou stranou nahoru. (obr. 8)
- 2005 – **Bowling** - cílem soupeřících robotů je během 90 sekund porazit co nejvíce kuželek vlastní barvy a případně postavit kuželky protivníka.
- 2007 – **Robot recycling rally** - úkolem robotů je vyhledávat na hřišti odpadky (21 láhví, 21 plechovek a 8 baterií) a třídit je do správných odpadkových košů.
- 2010 – **Feed the Word** (Nakrm svět) - roboty sbírají na hrací ploše herní prvky představující různé plodiny: rajčata, pomeranče (různě velké míčky) a kukuřici (plastové válečky). Ty pak ukládají do kontejnerů na své straně hřiště. Vyhrává robot, který nasbírá nejvyšší hmotnost.



Obr. 6 - Eurobot –Heads or Tails

2.4 Field Robot [13]

Německá soutěž motivovaná vývojem automatizované zemědělské techniky. Soutěží se ve čtyřech disciplínách:

- **Navigace** - průjezd co největším počtem křivých řádků kukuřice, na konci každého řádku otočka.
- **Pokročilá navigace** - jsou navíc zadány přesuny mezi jednotlivými řádky, například nejprve zahrnout do druhého vpravo, pak do prvního vlevo. Řádky jsou tentokrát rovné, ale různě dlouhé.
- **Postřik plevelu** - při řádce jsou rozmístěny zelené golfové míčky či destičky s umělými sedmikráskami, které je cílem postříkat a nastříkat co nejméně mimo.
- **Volná disciplína** - předvést něco alespoň vzdáleně souvisejícího s tématem.

Speciální disciplínou je pak „**Cooperative Challenge**“, jejímž cílem je ukázat spolupráci více robotů. Výsledek hodnotící komise je násoben „faktorem vzdálenosti“ týmů, tj. stejná škola 1x, stejná země 1.5x a jiné země 2x.



Obr. 7 - Field Robot - řádky kukuřice



Obr. 8 - Field robot - soutěžící

2.5 DARPA Grand Challenge [14]

Pravděpodobná „pramatka“ všech orientačních soutěží robotů, pořádaná organizací DARPA¹. Za cíl si klade hledání inovativních přístupů k navigaci bezosádkových pozemních bojových vozidel. Tyto by měly být schopny orientace z bodu do bodu, přičemž si musí najít vlastní nejvhodnější trasu a musí být schopny vyhnout se překážkám i jiným vozidlům. Grand Challenge je pak zkouškou autonomních vozidel v reálném terénu, kde se hodnotí rychlost a ujetá vzdálenost. Při této příležitosti spolu o 2 miliony dolarů soutěží ty nejschopnější společnosti a instituce z celých Spojených států i celého světa. Základnami pro soutěžní roboty jsou sériová vozidla od motocyklů přes nejvíce zastoupené terénní vozy až po šestnáctitunový armádní kolos. (Obr. 9, Obr. 10)



Obr. 9 - DARPA Grand Challenge



Obr. 10 - DARPA Grand Challenge - rozdílné přístupy

¹ DARPA - The Defense Advanced Research Projects Agency – Agentura pro pokročilý výzkum obranných projektů, USA

2.6 DARPA Urban Challenge [15]

Obdoba DARPA Grand Challenge s tím rozdílem, že robotizované vozy soutěží v městském prostředí. Musí tedy „znát“ pravidla silničního provozu, umět řešit křižovatky, bezpečně míjet ostatní vozidla, řadit se do pruhů, parkovat apod. (Obr. 11)



Obr. 11 - DARPA Urban Challenge

2.7 Mini Grand Challenge [16]

Inspirována DARPA Grand Challenge, jde o orientační soutěž malých, konstrukčně jednoduchých mobilních robotů, pořádanou Pennsylvania State University (USA).

2.8 Istrobot [17]

Mezinárodní soutěž pořádaná Fakultou elektrotechniky a informatiky STU v Bratislavě.

Kategorie:

- **Stopař** – úkolem robotu je sledovat čáru. Na trase se mohou vyskytovat překážky, jako je tunel (nedostatek světla), reflektor (přepaly), přerušení čáry, zdvojení čáry, cihla, most, dveře (ty musí robot definovaným úkonem otevřít).
- **Myš v bludišti** – úkolem autonomního robotu je projet bludiště v co nejkratším čase.
- **MiniSumo** – úkolem robotu je vytlačit robot soupeře z ringu.
- **Volná jízda** – úkolem týmu je sestrojít co nejzajímavější robot.

2.9 ICRA Robot Challenge [18]

Soutěž robotů pořádaná při příležitosti Mezinárodní konference robotiky a automatizace ICRA (International Conference on Robotics and Automation – ICRA). Zahrnuje čtyři kategorie:

Mobile Manipulation (mobilní manipulace) [19]

Zahrnuje podkategorie: úklid (robot musí uklidit místnost, kde si hrálo batole, posbírat všechny hračky a umístit je do bedny), ukládání nádobí do myčky (robot musí sklidit jídelní stůl a umístit všechno nádobí do myčky), šachy na stole, volná disciplína.



Obr. 12 - Mobile manipulation - robot Dynamaid

Virtual Manufacturing Automation Challenge (virtuální automatizace výroby) [20]

Tato soutěž simuluje mezisklad výrobního podniku. K simulaci je použito prostředí USARSim na platformě Unreal engine (toho se používá také při virtuální části RoboCup Rescue).



Obr. 13 - Virtual Manufacturing Automation

The Planetary Robotic Contingency [21]

Tato soutěž simuluje neočekávané problémy, které se mohou vyskytnout při planetárních (mimozemských) misích, kde musí být co nejrychleji navrhnout a sestrojen robot, který daný problém vyřeší. Prostředí se skládá ze samotného povrchu planety a z člověkem obývaného stanoviště. Na tomto stanovišti musí tým robot navrhnout a sestrojít ze součástek, které si přinesou v bedně se součtem rozměrů 150 cm a maximální hmotnosti 25 kg. Robot je následně vypuštěn na povrch planety, kde může být ovládán buď autonomně, nebo dálkově ze stanoviště. (Obr. 14)

Úkoly mohou být např. oprava antény (robot musí umístit prut antény do základny vysoké 1m), oprava stanoviště (robot o maximální hmotnosti 5kg musí vyšplhat na stanoviště a zalepit jeho povrch).



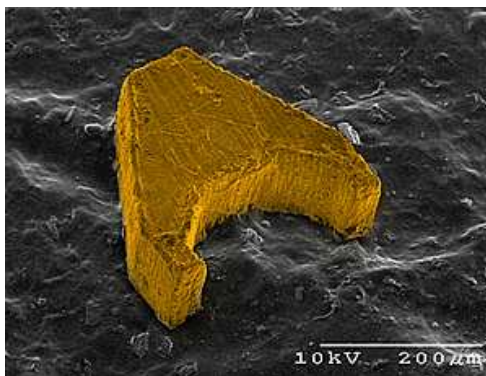
Obr. 14 - Planetary Robotic Contingency

Mobile Microrobotics Challenge (soutěž mobilních mikrorobotů) [22]

Při příležitosti ICRA organizována institutem NIST (The National Institute of Standards and Technology).

Všechny roboty v soutěži nesmí být větší než 600 mikrometrů a musí být schopné fungovat bezdrátově. Soutěž má dvě části, které otestují rychlost, obratnost a schopnost robotů manipulovat s malými objekty.

- Mobility Challenge – roboty se musí navigovat v bludišti.
- Microassembly Challenge – roboty musí poskládat mikrokomponenty v úzkém kanálku. Tento úkol simuluje manipulaci v úzkých prostorách krevního řečiště či sestavování komponent při nanovýrobě. Je povolena spolupráce několika mikrorobotů.

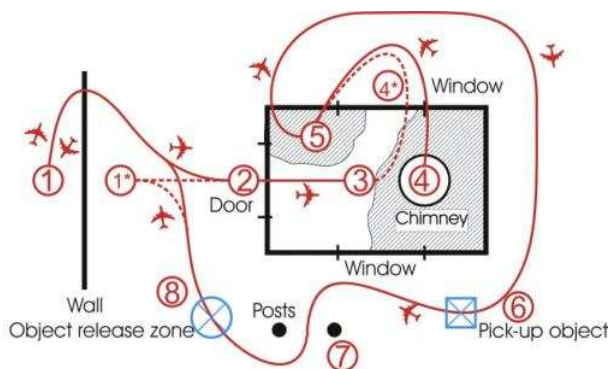


Obr. 15 - Microrobotic Challenge - Mag- μ Bot

2.10 Micro Air Vehicle Competition [23]

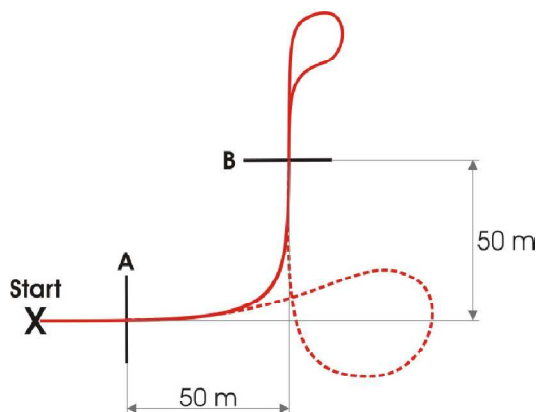
Soutěž miniaturních létajících prostředků. Ty mohou být řízeny klasicky rádiově s přímým pohledem, rádiově s pohledem z kamer na prostředku či plně autonomně. Soutěží se v několika disciplínách, přičemž v každé vítězí nejmenší robot, který danou disciplínu zvládne. Mohou soutěžit roboty s pevnými křídly, rotujícími křídly a mávajícími křídly.

- **Indoor flight dynamics** (vnitřní letová dynamika)- letouny oblétaří 2 překážky po trajektorii osmičky.
- **Indoor Autonomy Competition** (vnitřní soutěž v autonomii) – letouny musí být schopny operace v budovách i bez přímého vizuálního kontaktu s pilotem (tj. musí být vybaveny minimálně kamerovým subsystémem). Úkolem letounů je mmj. průlet komínem (Chimney), oknem (Window), dveřmi (Door) a přenášení 20g objektu. (Obr. 16)



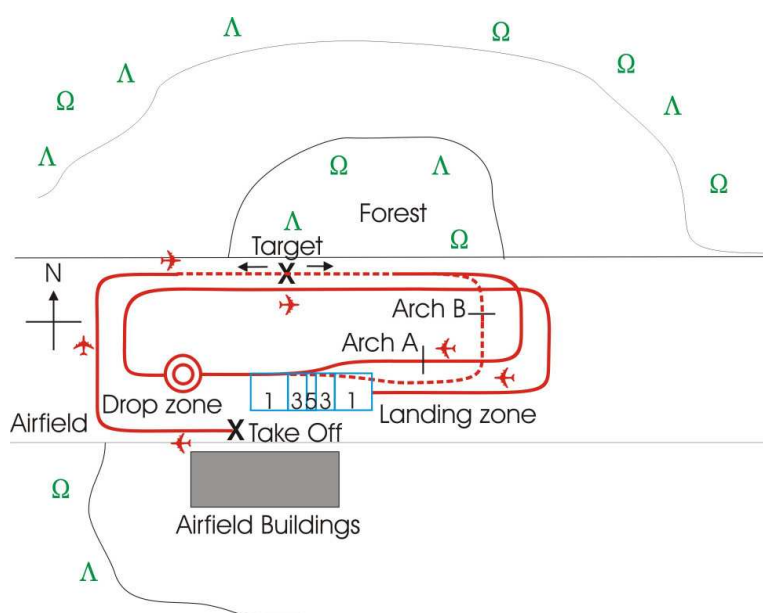
Obr. 16 - MAV - Indoor Autonomy Competition

- **Outdoor flight dynamics** (vnější letová dynamika) - letouny prolétávají skrz dvě na sebe kolmá „okna“ (Obr. 17). Na začátku v pořadí A-B, poté se musí otočit a proletět v opačném pořadí, pak opět otočit atd. Hodnotí se počet průletů oběma okny.



Obr. 17 - MAV Outdoor Flight Dynamics

- **Outdoor Autonomy Competition** (vnější soutěž v autonomii) - letouny musí proletět trasu (viz Obr. 18), jejíž součástí je rozpoznání a vyfocení značky umístěné na horní a boční straně stojícího nákladního auta (Target), upuštění míčku na cíl (Drop Zone) a přesné přistání. Během trasy operátor nemá po celou dobu přímý vizuální kontakt s letounem, je tedy nutná buď úplná autonomie, či alespoň kontakt skrze senzorický subsystém letounu.



Obr. 18 - MAV Outdoor Autonomy Competition

3 Domácí soutěže

3.1 Robotour [24]

Původem česká soutěž autonomních robotů pohybujících se po parkových cestičkách. Roboty vezoucí náklad (pětilitrový soudek) jsou bodově zvýhodněny. Důraz je kladen na robustnost a spolehlivost robotů realizovaných s minimálními náklady.

Úkolem robotů je v časovém limitu 30 minut dopravit náklad do cíle vzdáleného až 1 km. Roboty dostanou pouze mapu a souřadnice cíle. Musí být plně samostatné, nesjíždět z cesty a správně se rozhodovat na křižovatkách podle zadané mapy. Roboty nebudou před startem znát svoji startovní polohu a interakce s operátorem se omezí na zadání cíle. Robot úspěšně řešící tuto úlohu by měl být schopen demonstrovat své schopnosti v jakémkoli parku s odpovídající mapou.

Každý robot musí mít snadno přístupné červené EMERGENCY STOP tlačítko, kterým je možno jej zastavit v případě hrozícího nebezpečí (například porucha). Na robotu musí být během celé soutěže umístěn 5l pivní soudek (alespoň prázdný). Roboty startují automaticky pomocí vnitřních časovačů. Minutu před startem už nesmí docházet k žádné interakci s robotem.

Na trase se mohou nacházet překážky, a to přirozené (lavičky, stromy) i umělé (člověk na kolečkových bruslích). V případě, že robot neví, zda je překážka statická, či jde např. o člověka, může zastavit a dát zvukové znamení. Člověk na toto zareaguje, lavička nikoli. Robot následně musí sám rozpoznat, zda je překážka stále v cestě.



Obr. 19 - Robotour

3.2 Roboorienteering [25]

Úkolem robotů je samostatně projet trať (v roce 2010 v parku), která je zadána cílovým a kontrolními body. Zeměpisné souřadnice bodů jsou týmu předány krátce před startem robotu. Hodnotí se přesnost dosažení cílového bodu a průjezd jednotlivými kontrolními body trasy v omezeném časovém limitu. Robot si musí sám zvolit cestu a vyhýbat se překážkám.

Velikost robotů není omezena, hmotnost je omezena potřebou přenosu robotu na několik desítek metrů (tedy cca 25 kg). Maximální rychlost je omezena na 2m/s z důvodu dosažitelnosti v případě nutnosti nouzového zastavení. Robot musí být vybaven červeným STOP tlačítkem, které slouží k nouzovému odpojení zdrojů a zastavení robotu. Pro navigaci lze použít systém GPS. Senzory pro detekci překážek nejsou omezeny, je možné používat i dotykové snímače za předpokladu, že jsou tak citlivé, že při kontaktu robotu s překážkou nedojde k jejímu poškození.

3.3 Robotem rovně [26]

Cílem soutěže je přiblížení robotiky širší veřejnosti, hlavně z řad mládeže, a probudit v mladých a malých vztah k technice.

Úkolem robotu je projet bez vnějšího zásahu majitele, nebo někoho jiného, trať po parkové cestě a nevyjet na trávník. Šířka cesty je zhruba 3 metry a délka trasy zhruba 300 metrů. Hodnotí se ujetá vzdálenost.

Účastníci soutěže jsou zařazeni do 2 kategorií:

- roboty (vozítka vybavená elektronikou pro navigaci a řízení)
- autíčka (vozítka vybavená pouze motorem, bateriemi a spínačem)

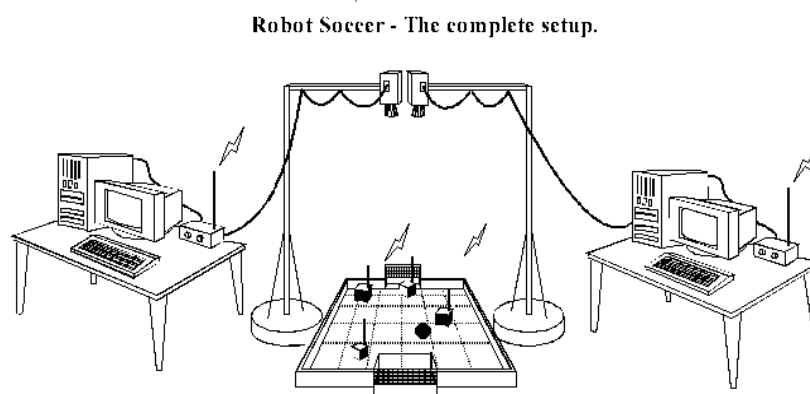


Obr. 20 - Robotem rovně - pohled kamery

3.4 FIRA Cup [27]

Soutěž miniaturních autonomních robotů řízených výhradně umělou inteligencí bez zásahu člověka. Zastřešuje několik kategorií, například:

- **MiroSot** - Roboty jsou řízeny programem běžícím na počítači, přenášejícím signály bezdrátově. Nemají žádný senzorický subsystém, jsou řízeny prostřednictvím obrazu snímaného kamerami umístěnými nad hrací plochou.
- **RoboSot** - Roboty mohou být plně či částečně autonomní. V případě částečně autonomních robotů může funkci zpracování obrazu z kamerového subsystému zpracovávat počítač.
- **HuroSot** - Fotbal humanoidních robotů.



Obr. 21 – FIRA Cup -MiroSot

4 Vhodné soutěže

S ohledem na specializaci katedry robototechniky a dosud vyrobené roboty by v budoucnu byla její účast možná v soutěžích:

- Robotour (ČR, park)
- Roboorienteering (ČR, park)
- Robotem rovně (ČR, park)
- Field Robot (D, pole)
- RoboCup Rescue (záchranářské práce)

Soutěže	Autonomita	Omezení velikosti	Hmotnost	Prostupnost	Senzorický subsystém
Robotour	plná	minimální- musí uvést 5l pivní soudek	do 25 kg	střední	TV kamera, LIDAR, taktilní čidla, ultrazvuk, IR čidla, GPS
Roboorienteering	plná	bez omezení	do 25 kg	střední	TV kamera, LIDAR, taktilní čidla, ultrazvuk, IR čidla, GPS
Robotem rovně	plná	bez omezení	bez omezení	nízká	TV kamera
Field Robot	plná	šířka max 300 mm - prostor mezi kukuřicí	bez omezení	střední	TV kamera, LIDAR, taktilní čidla, ultrazvuk, IR čidla
RoboCup Rescue	plná/dálkové řízení*	omezeno pohybem v místnosti	bez omezení	vysoká	senzor CO2, termokamera, TV kamera - stereovize, taktilní čidla, ultrazvuk, IR čidla

Tabulka 1 - Srovnání soutěží

*dálkové řízení povoleno pro střední a vysokou obtížnost arény

Vysvětlení pojmů v tabulce 1:

Prostupnost nízká

Terén: parkové cestičky

Překážky: žádné

Prostupnost střední

Terén: parkové cestičky, trávník, hlína, bahno

Překážky: prudká stoupání, stromy, keře, kořeny, lavičky, odpadkové koše, obrubníky, kukuřice

Prostupnost vysoká

Terén: místnost, schody, nakloněná rovina, členitý povrch

Překážky: převržený nábytek, krabice, dveře

Pozn.: Všechny roboty by měly mít rychlost omezenou na 2 m/s (tedy zhruba rychlost chůze), aby je bylo možno v případě nebezpečí „doběhnout“.

Soutěže	Řízení		Senzorický subsystém									Konstrukce			
	plná autonomie	dálkové řízení	TV kamera	stereovize	termokamera	senzor CO2	LIDAR	taktilní čidla	ultrazvuk	IR čidla	GPS	odolnost- vlhkost	požadavek efektorů	STOP tlačítko	vysoká prostupnost
Robotour	X		O				O	X	O	O	X	X		X	
Roboorienteering	X		O				O	X	O	O	X	X		X	
Robotem rovně	X		X				O	X	O	O		X		X	
Field Robot	X		O				O	X	O	O		X	X		
RoboCup Rescue	O	O	X	X	X	X	O	O	O	O		X	X		X
X - nutné															
O - volitelné															

Tabulka 2 - Srovnání soutěží

5 Požadavkový list:

Úkolem této práce je návrh podvozku pro mobilní robot dle těchto požadavků:

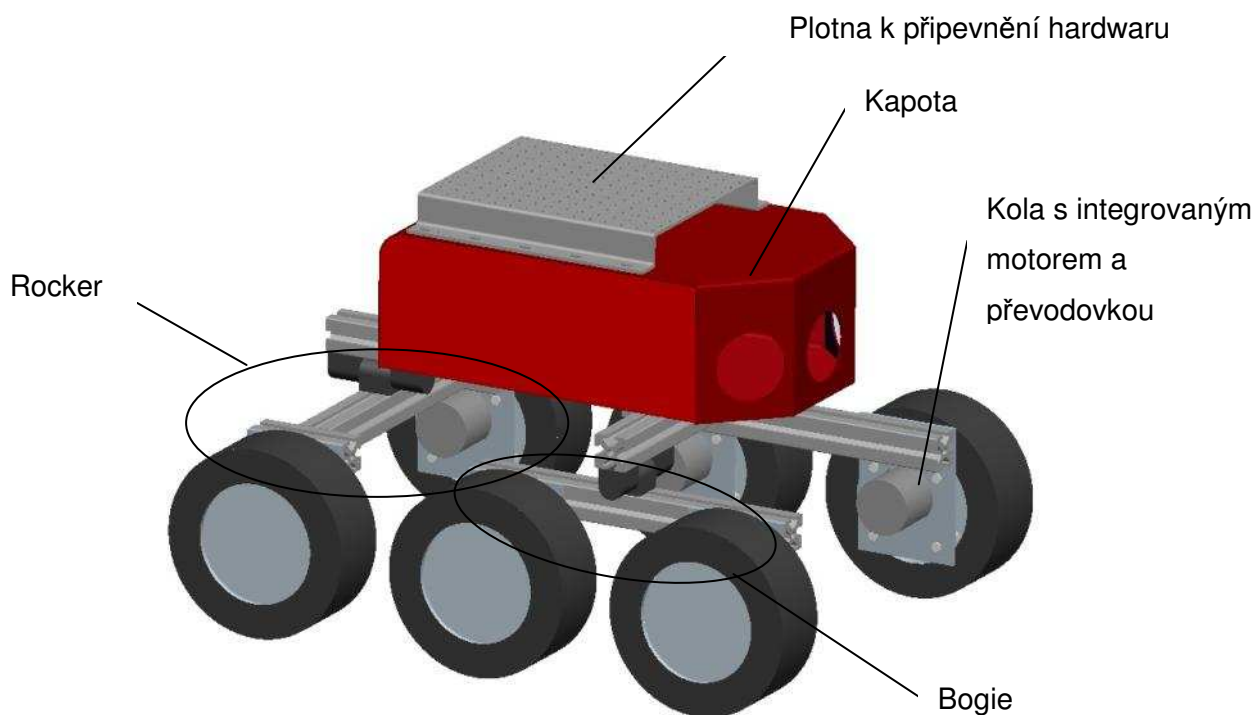
- Hmotnost maximálně 25 kg
- Šestikolový podvozek s koly s integrovaným pohonem GM37-110
- Modularita
- Možnost zástavby (nástavby) senzorického subsystému
- Senzorický a řídicí subsystém umožňující plnou autonomii
- Jednoduchá konstrukce, možnost snadné údržby a výměny komponentů
- Vysoká prostupnost
- Minimální cena

6 Varianty řešení

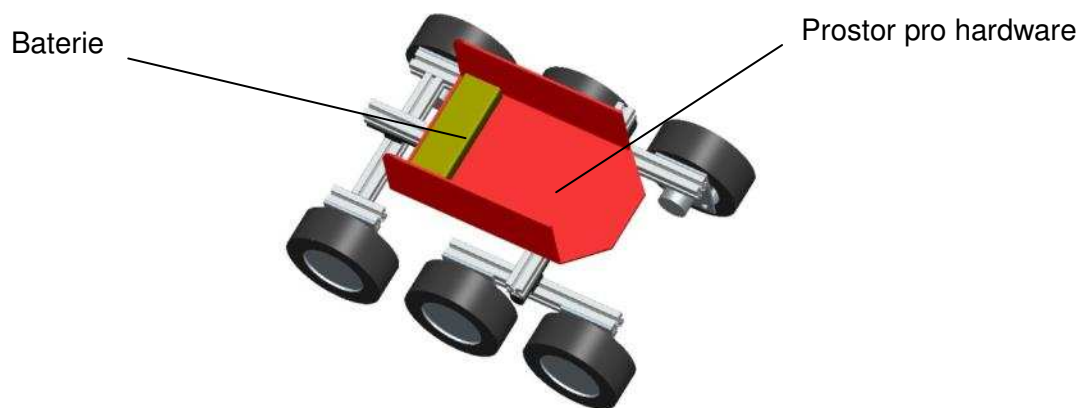
Dle požadavkového listu byly zpracovány tři varianty řešení.

6.1 Varianta 1

Tato varianta vychází z koncepce podvozku Rocker-Bogie, který používá NASA pro své šestikolové sondy (rovery) určené k průzkumu Marsu.



Obr. 22 - Varianta 1



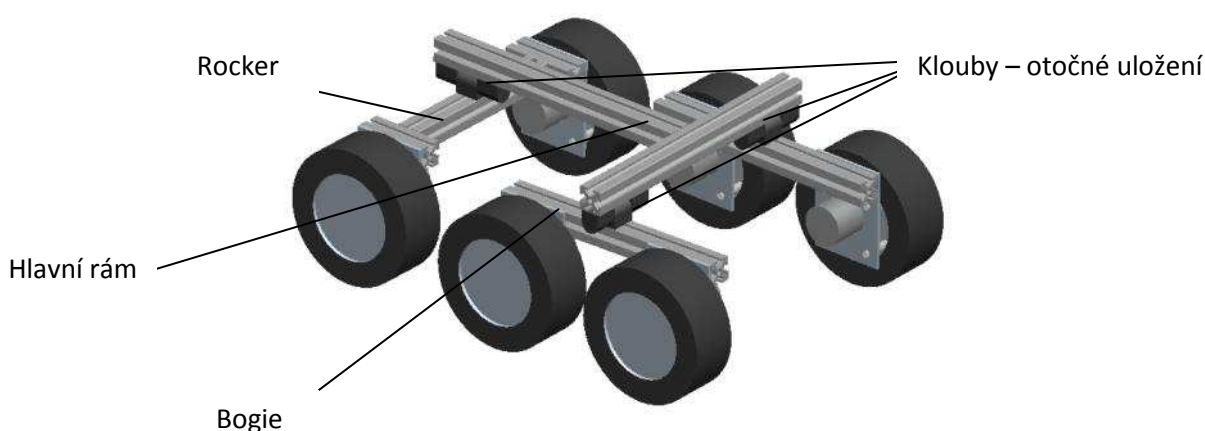
Obr. 23 - Varianta 1 - otevřená

Výhody tohoto podvozku jsou zejména v jeho prostupnosti. Díky velké světlé výšce a kinematice zavěšení kol je tento podvozek (při dostatečném výkonu motorů) schopen překonávat i překážky vyšší, než je poloměr kola.

Uchycení kol mimo samotný rám poskytuje dostatek místa pro hardware v kapotované části (tedy chráněné před povětrnostními vlivy i mechanickým poškozením). V přední části kapoty jsou okénka z plexiskla, která poskytují výhled případným senzorům umístěným pod kapotou. Elektronika, která se pod kapotu nevejde, může být uchycena na „střešní“ plotně, která má rozteč děr kompatibilní se stavebnicí Merkur.

Celá konstrukce je řešena maximálně jednoduše, s ohledem na výrobní náklady, spolehlivost i snadnou vyměnitelnost dílů. Spoje jsou řešeny šrouby. Modularita je tedy zajištěna tím, že se na potřebném místě jednoduše vyvrtá díra, do které se požadovaný komponent přišroubuje. Kosmetické spoje plechů (např. přední část kapoty) a spoje těsnící budou pájeny.

Samotné uchycení kol s integrovaným motorem s převodovkou je řešeno plechovou přírubou.



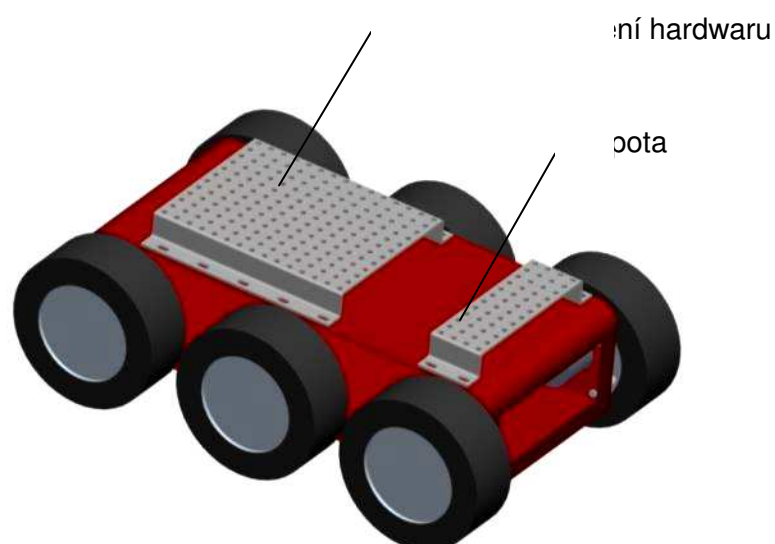
Obr. 24 - Varianta 1 - podvozek



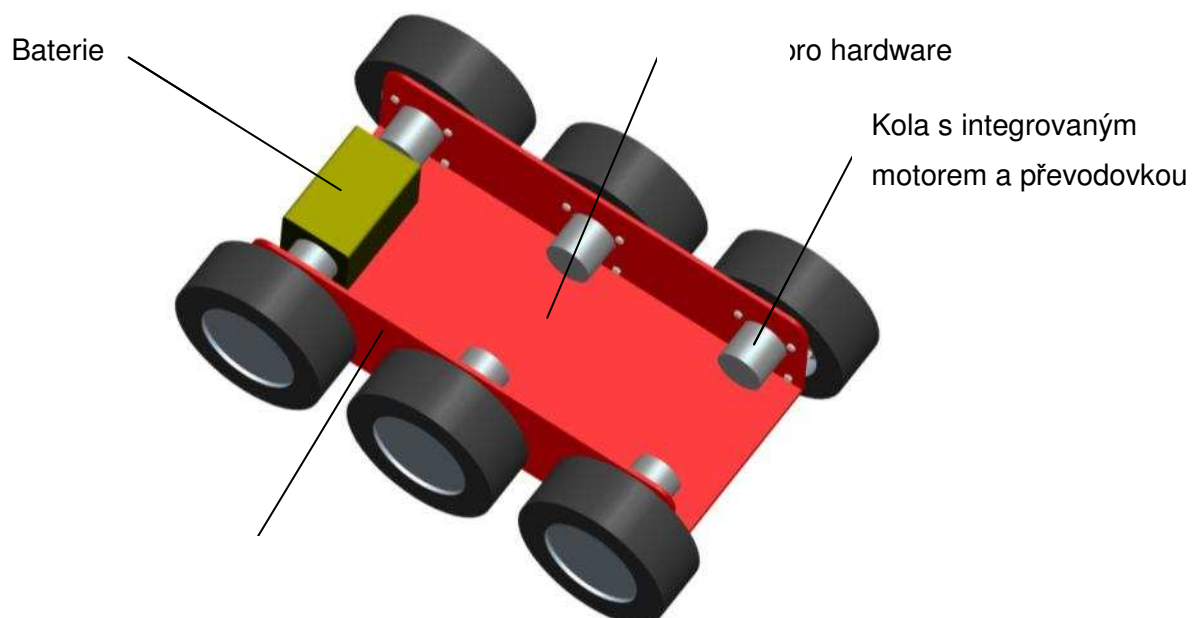
Obr. 25 - Varianta 1

6.2 Varianta 2

Jde o konstrukčně nejjednodušší variantu. Kola s integrovaným motorem s převodovkou jsou pevně přišroubována k rámu.



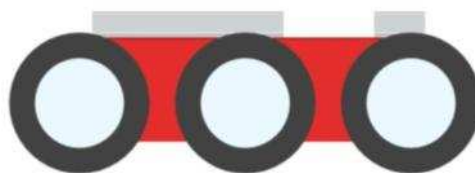
Obr. 26 - Varianta 2



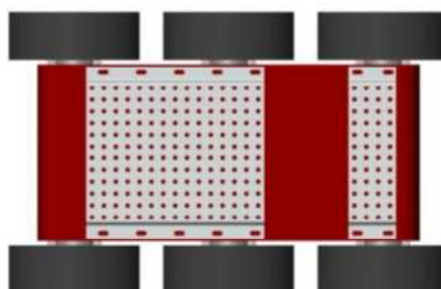
Obr. 27 - Varianta 2 - otevřená

Toto řešení je jednoduché konstrukčně i výrobně. Jednoduchost je však vykoupěna horšími parametry schopnosti překonávat terén. Malá světlá výška může způsobit uvíznutí. Vzájemná nepohyblivost kol je nevýhodná pro překonávání překážek – nedochází ke kontaktu všech kol s povrchem, nadměrně se zatěžují kola v záběru. Podvozek je vhodný k aplikacím na rovném terénu (cesta, místnost). Jeho výhodou je také velmi nízké těžiště, což jej činí odolným proti překlpení.

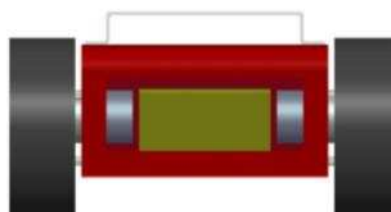
V přední části kapoty je okénko z plexiskla, které poskytuje výhled případným senzorům umístěným pod kapotou. Elektronika, která se pod kapotu nevejde (místo je omezeno motory), může být uchycena na jedné ze střešních ploten, které mají rozteč děr kompatibilní se stavebnicí Merkur. Přední menší plotna je určena zejména k uchycení senzorů, které by v případě umístění za rovné okénko pod kapotou měly omezený výhled (pouze vpřed). Ty by bylo, v případě potřeby, rovněž možno dodatečně kapotovat.



Obr. 28 - Varianta 2 - pohled z boku



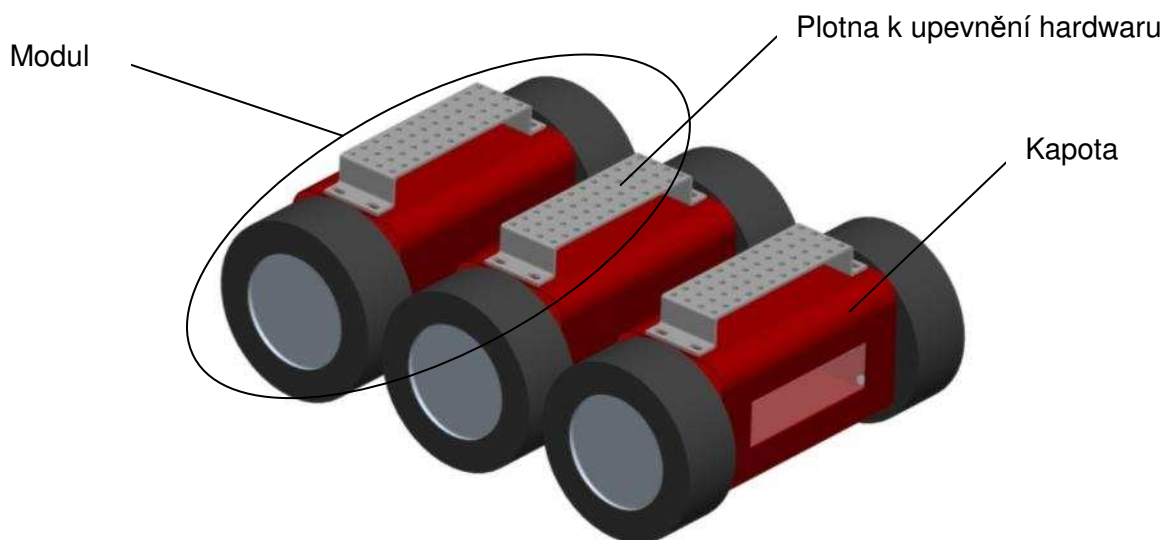
Obr. 29 - Varianta 2 - pohled shora



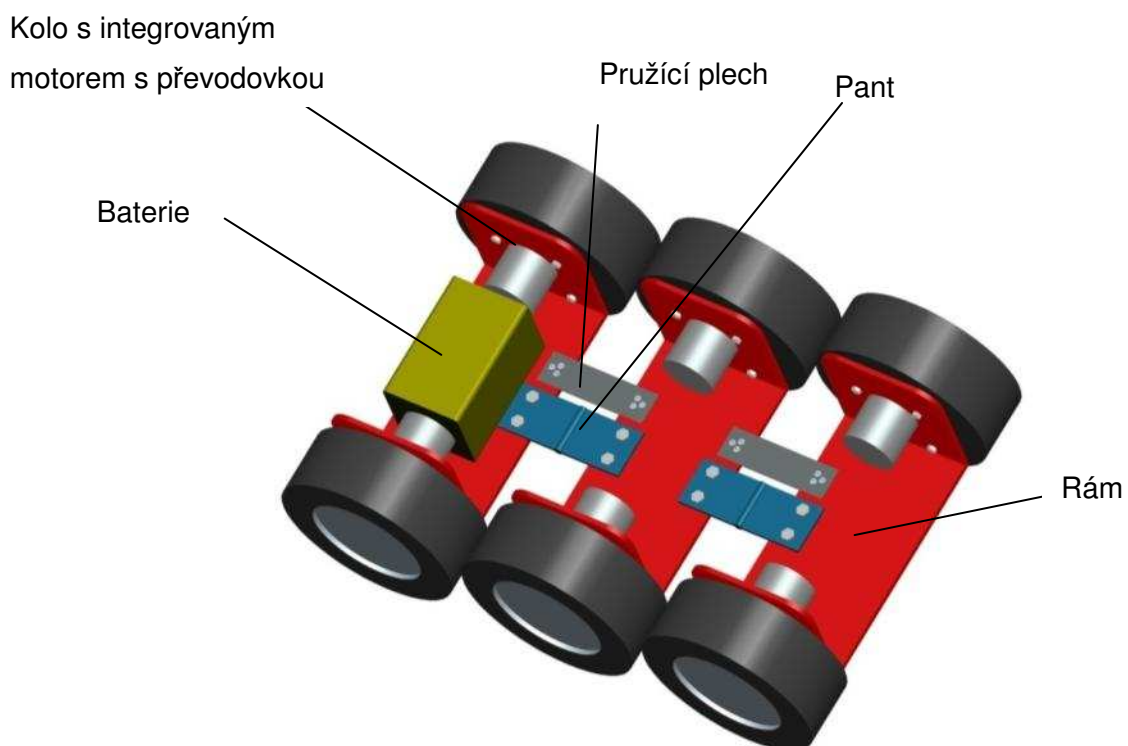
Obr. 30 - Varianta 2 - pohled zepředu

6.3 Varianta 3

Podvozek složený ze tří kapotovaných ráků (modulů) s vlastními koly s integrovaným motorem a převodovkou spojenými panty.



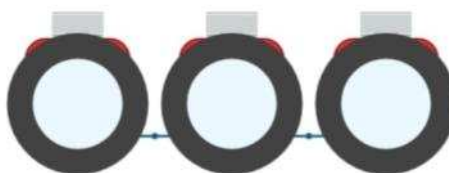
Obr. 31 - Varianta 3



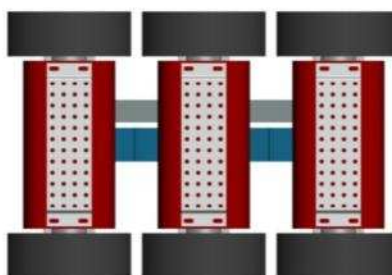
Obr. 32 - Varianta 3 - otevřená

Tato varianta stojí konstrukční složitostí mezi variantami 1 a 2. Moduly jsou spojeny panty, mohou se tedy vůči sobě pohybovat. Zvyšuje se tedy schopnost překonávání překážek. Mezi moduly je nutné instalovat pružící prvek, který jim znemožní „zalomení“. Ten je navržen jako přišroubovaný ocelový plíšek. Bylo by však složité jej přesně navrhnout, proto by se při testování sestaveného robotu (se vší elektronikou a bateriemi) vyzkoušelo několik tlouštěk a použila se ta, která by nejlépe vyhovovala. Výhodou podvozku je velmi nízké těžiště, což jej činí odolným proti překlopení. Nevýhodou je malá světlá výška.

Nevýhodou této varianty podvozku je i málo místa pro elektroniku. Tato by byla umístěna v každém z modulů (např. v zadním baterie + řídicí obvody motorů, v prostředním samotné autonomní řízení, v předním senzorický subsystém). Elektronika, která se pod kapoty nevejde, může být uchycena na jedné ze střešních ploten, které mají rozteč děr kompatibilní se stavebnicí Merkur. To však s ohledem na „zlomitelnost“ podvozku. Důraz musí být kladen rovněž na vyváženost elektroniky, tedy aby těžiště bylo co nejbližší nad osou kol daného modulu.



Obr. 33 - Varianta 3 - pohled z boku



Obr. 34 - Varianta 3 - pohled shora



Obr. 35 - Varianta 3 - pohled zepředu

7 Hodnotová analýza

Hodnotová analýza je metoda výběru optimální varianty. K jejímu provedení je třeba zvolit kritéria a jim přiřadit číselnou hodnotu podle bodové stupnice hodnocení. [4]

Stupnice hodnocení:

Vysoká úroveň	5
Nadprůměrná úroveň	4
Průměrná úroveň	3
Podprůměrná úroveň	2
Nevyhovující úroveň	1
Nepříznivý stav	0

Kritéria:

Číslo kritéria	Kritérium	Charakteristika
1	Prostupnost	Schopnost jízdy v terénu, překonávání překážek
2	Efektivnost	Vzhled
3	Cena	Složitost montáže, počet a výrobní náročnost dílů
4	Údržba	Jednoduchost konstrukce, vyměnitelnost součástí
5	Hmotnost	Hmotnost konstrukce
6	Prostor	Množství vnitřního prostoru pro elektroniku

Tab. 1 - Kritéria hodnotové analýzy

Číselné hodnocení variant:

	<i>Krit. 1</i>	<i>Krit. 2</i>	<i>Krit. 3</i>	<i>Krit. 4</i>	<i>Krit. 5</i>	<i>Krit. 6</i>
<i>Varianta 1</i>	5	5	3	3	2	4
<i>Varianta 2</i>	2	3	4	5	4	3
<i>Varianta 3</i>	3	4	3	2	3	2

Tab. 2 - Číselné hodnocení variant

Metoda porovnávání párů

Pomocí metody porovnávání párů (Tab. 3) je určena váha významnosti jednotlivých kritérií. Pomocí těchto hodnot a počtů bodů přiřazeným jednotlivým variantám lze spočítat konečný počet bodů jednotlivých variant (Tab. 4) a tím zjistit, která je optimální. Optimální varianta získá nejvyšší počet bodů.

Porovnávané páry funkcí					Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti
F1 F2	F1 F3	F1 F4	F1 F5	F1 F6	5	1.	2,0
	F2 F3	F2 F4	F2 F5	F2 F6	2	3.	1,25
		F3 F4	F3 F5	F3 F6	1,5	4.-5.	1,125
			F4 F5	F4 F6	1,5	4.-5.	1,125
				F5 F6	4 1	2. 6.	1,75 1

Tab. 3 - Porovnávání párů

Zvolena byla stupnice vah významnosti v rozsahu 1,00 – 2,00 a lineární závislost s počtem voleb.

Lineární funkci lze vyjádřit z rovnice přímky:

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1)$$

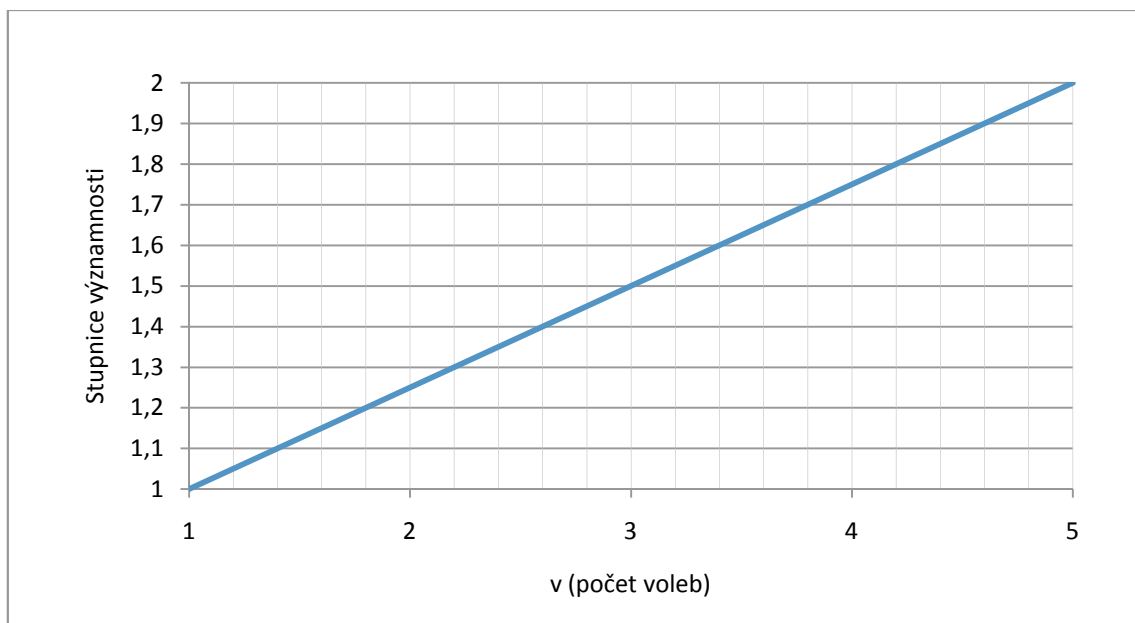
Po dosazení bodů $x_1=1$; $y_1=1$; $x_2=5$; $y_2=2$ (viz. Graf 1):

$$y - 1 = \frac{2 - 1}{5 - 1} \cdot (x - 1)$$

Váha významnosti q je pak dána vztahem:

$$q = 0,25 \cdot v + 0,75$$

kde: v – počet voleb



Graf 1 - Stanovení váhy významnosti

Konečné hodnocení:

Konečné hodnocení variant vypočteme jako sumu součinů číselných hodnocení kritérií a příslušných vah kritérií.

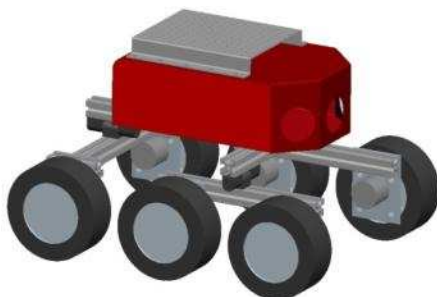
Varianta	Hodnocení
1	30,5
2	27,9
3	23,9

Tab. 4 - Konečné hodnocení

Optimální je tedy varianta č. 1, což je podvozek Rocker- Bogie.

8 Konstrukční návrh optimální varianty

Dle hodnotové analýzy se vítěznou variantou stala varianta 1 – podvozek Rocker-Bogie (Obr. 36). Tato byla dále rozpracována do podoby na Obr. 37 a realizována (Obr. 38)



Obr. 36 - Vítězná varianta



Obr. 37 – Konečná 3D podoba podvozku



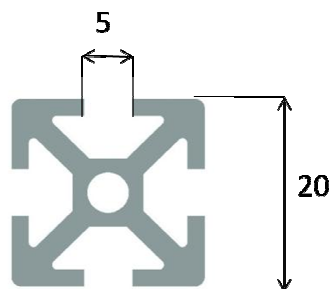
Obr. 38 – Realizace

8.1 Rám

Pro konstrukci rámu jsou použity hliníkové profily ITEM 5 20x20 (Obr. 39) a to zejména kvůli variabilitě, jednoduchosti jejich sestavení a z toho plynoucí modularity a snadné modifikovatelnosti podvozku.

Profil o délce 1530 mm je nařezán na 11 částí, čela jsou frézována kvůli kolmosti k podélné ose – profily se k sobě montují čelem a jejich zkosení by vedlo k nepřesnému lícování. Profily jsou následně odvrtány pro průchozí šrouby M5 a M8.

Pro koutové spoje (Obr. 40) je použit hliníkový L profil 20x20x2mm řezaný na délku 20 mm. Pro rovinné spoje jsou použity hliníkové pásky 40x20x2mm. Do nich jsou odvrtány díry pro šrouby M5. Pro všechny spoje těchto typů jsou použity šrouby M5x10 ČSN 02 1143 a čtvercové matice M5 ČSN 02 1416, které odpovídají drážkám v profilu.



Obr. 39 - Rozměry ITEM profilu



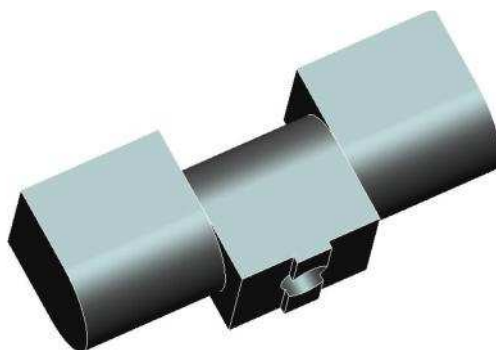
Obr. 40 - Spoje rámu

8.2 Panty

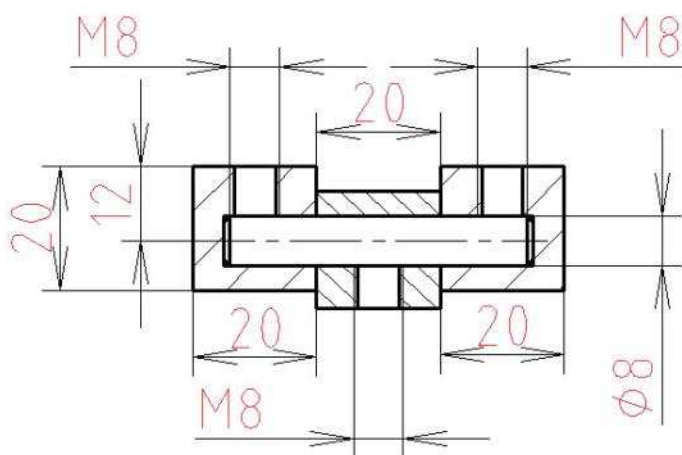
Jako panty, které jsou jedním z dalších hlavních konstrukčních prvků, jsou použity boční závěsy firmy Moss Plastics. Těla pantů jsou z pochromované mosazi, čep je ocelový.

Panty umožňují volné otáčení zadního rámu kol kolem podélné osy robotu a dvou bočních rámu kolem příčné osy robotu.

Jako opatření proti pootočení pohyblivých částí rámu vůči pantu (a tím vůči zbytku robotu) jsou střední části pantů frézovány tak, aby vytvořený výstupek zapadl do drážky v profilu, na který dosedá.



Obr. 41 - 3D model pantu



Obr. 42 - Rozměry pantu

8.3 Kola s integrovaným pohonem

K pohonu robotu je použito 6 kol s integrovaným pohonem GM37-110.

Technické údaje:

Elektromotor 12 V

Předlohová převodovka 1:52,5

Krouticí moment 0,9 Nm (při 0 ot/min) [28]

pozn.: Ve výpočtech se počítá s hodnotou 0,8Nm. Snížení nahrazuje koeficient bezpečnosti pro moment.

Maximální otáčky 110 ot/min

Odběr proudu 80 mA bez zátěže, 2 A při 0 ot./min

Rychlost robotu při 75% otáček 0,5 m/s

Průměr kola 115 mm



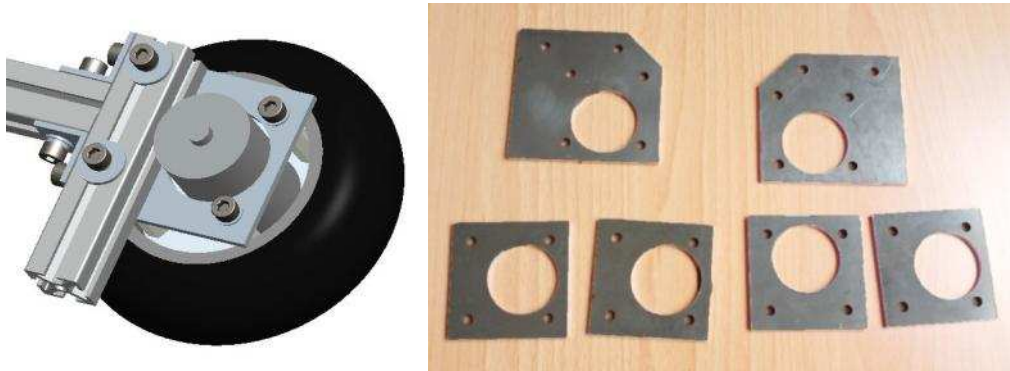
Obr. 43 - Kolo GM37-110



Obr. 44 - Rozložený pohon kola

8.4 Příruby kol

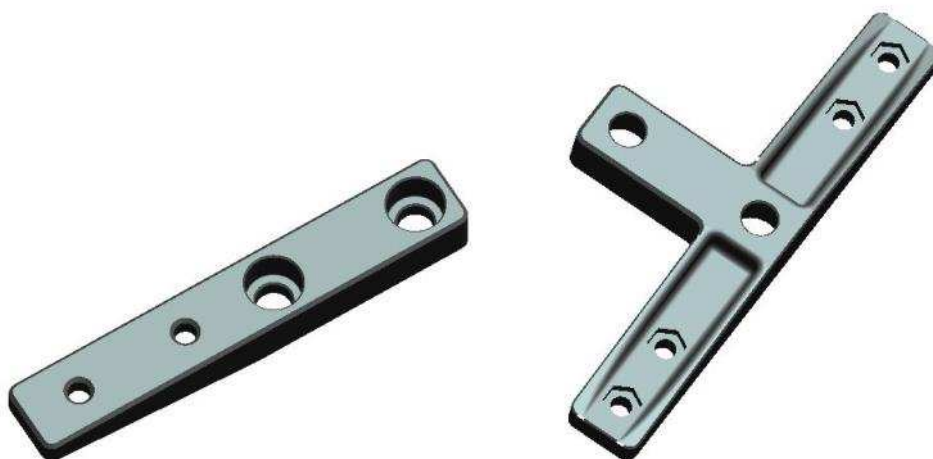
Pro uchycení kol k rámu jsou navrženy příruby z hliníkového plechu tloušťky 3 mm (Obr. 45). Tyto složí také ke zvýšení tuhosti připojení kol k rámu. Výrobní výkresy viz. příloha [P2].



Obr. 45 - Příruby kol

8.5 Patky

Pro uchycení nástavby k rámu podvozku byly navrženy, vymodelovány a pomocí systému Rapid-Prototyping [29] vytisknuty patky, které slouží zároveň jako podložka k upnutí pantů k rámu (Obr. 46).

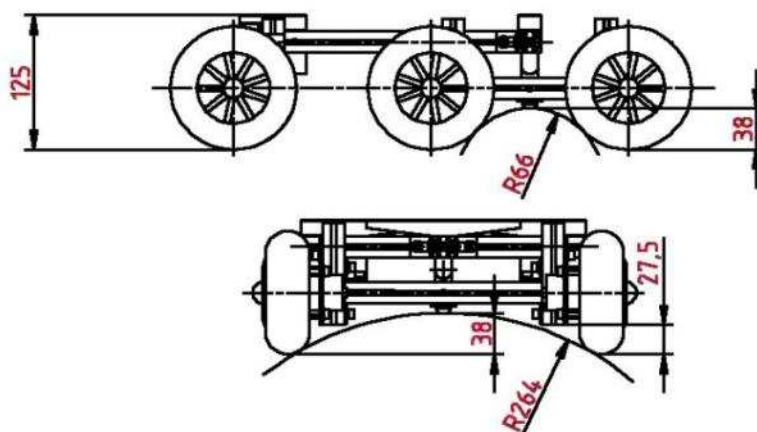


Obr. 46 - Patky

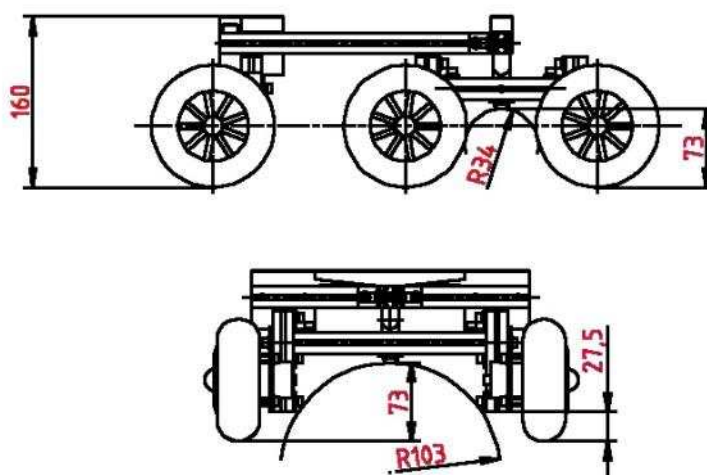
8.6 Nastavení světlé výšky

Povolením spojů na pohyblivých částech rámu a posunem profilů k tomu určených lze nastavovat světlou výšku robotu v rozmezí ± 35 mm.

Nižší poloha (Obr. 47) je vhodná pro aplikace, kdy je nutno snížit těžiště robotu (např. jízda po nakloněné rovině). Vyšší poloha zlepšuje prostupnost robotu – maximální výšku a minimální poloměr překážky (Obr. 48).



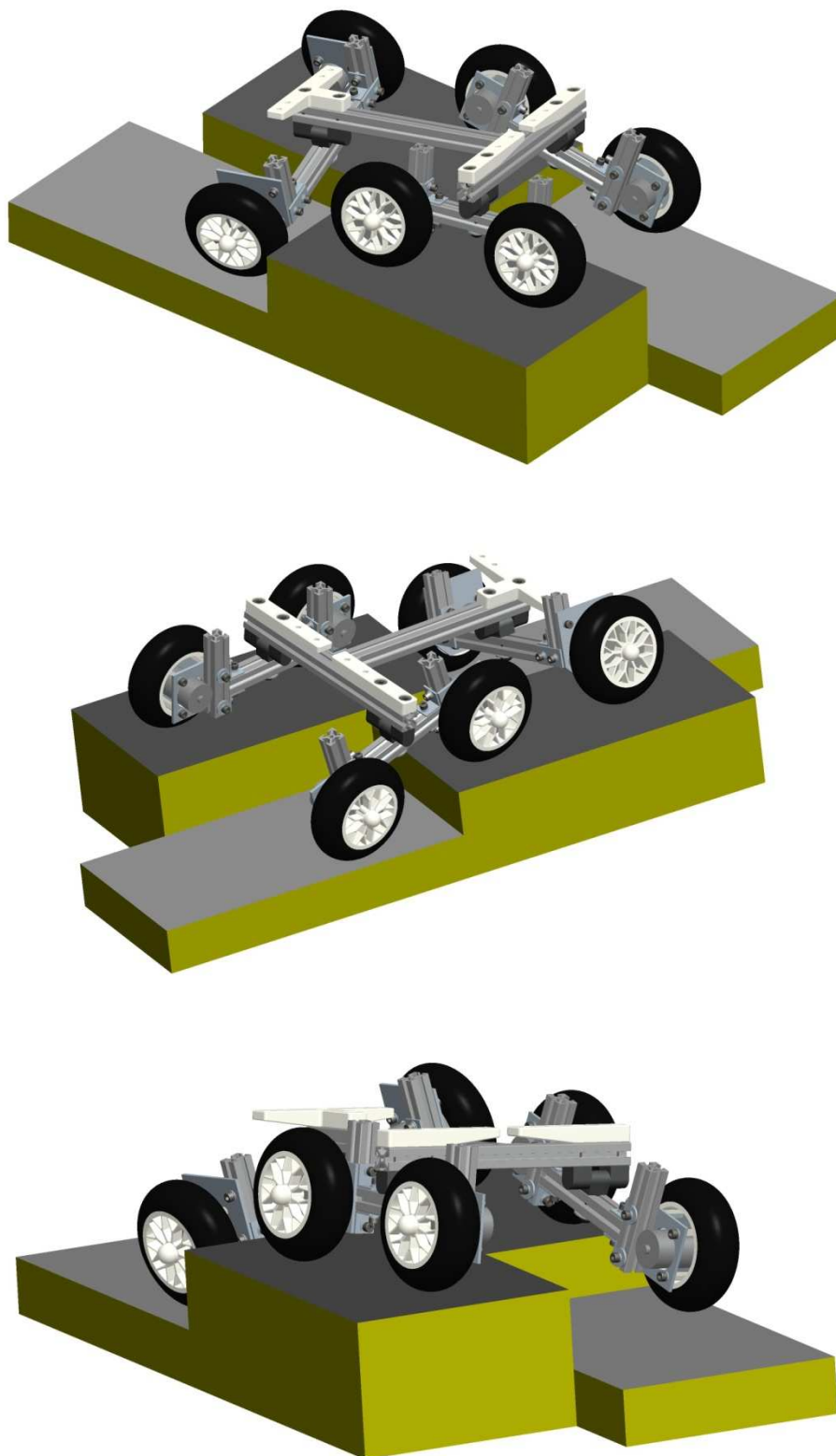
Obr. 47 - Nízká poloha



Obr. 48 - Vysoká poloha

8.7 Kinematika podvozku

Na Obr. 49 lze vidět, jak se podvozek dokáže přizpůsobit i velmi náročnému terénu. Všechna kola jsou neustále v kontaktu s povrchem.



Obr. 49 - Překonávání terénu

9 Návrh senzorického a řídicího subsystému

Senzorický a řídicí subsystém robotu byl navržen k dosažení plné autonomie při soutěžích. Zahrnuje:

Laserový scanner Hokuyo URG-04LX [30]

- Rozsah měření od 20 do 5600mm, 240°
- Perioda skenování 100ms
- Napájení 5V, příkon 2,5 W
- Připojení USB (Mini B)
- Rozměry 50x50x70mm
- Hmotnost 160g



Obr. 50 - Hokuyo URG-04LX

Ultrazvukové dálkoměry SRF-08 [31]

- Rozsah měření od 30 do 6000 mm
- Vyzařovací úhel 55°
- Frekvence 40kHz
- Napájení 5V/15mA
- Připojení I2C interface
- Rozměry 42x20x16mm



Obr. 51 - SRF-08

GPS přijímač BU-353 [32]

- Frekvence L1, 1575,42 MHz
- Citlivost přijímače -159 dBm
- Výstupní data: pozice, rychlost, výška, stav a řízení
- Napájení 5V/15-80mA
- Připojení USB
- Rozměry: 53x53x19,5mm
- Magnetický držák



Obr. 52 - BU-353

Kompasový modul CMPS03 [33]

- Rozlišení 0,1°
- Přesnost 3-4° (po kalibraci)
- Výstup 1: impuls délky 1-37ms s krokem 0,1ms
- Výstup 2: I2C interface 0-255, 0-3599, max 1MHz
- Napájení 5V/20mA
- Rozměry 32x34mm



Obr. 53 - CMPS03

Kamera Logitech HD Webcam C910 [34]

- Full HD 1080p (1920x1080 px)
- Automatické ostření
- Napájení 5V
- Připojení USB



Obr. 54 - HD Webcam C910

Počítač Kontron pITX 1,6 GHz plus [35]

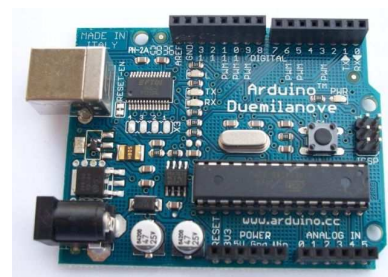
- Hostuje samotný řídicí program ve zvoleném operačním systému
- Procesor Intel®Atom Z530, 1,6GHz
- 6x USB
- Dual SATA, PATA 44
- 1x DDR2 SODIMM socket
- Rozměry 100x72mm
- Napájení 5V/7-9W



Obr. 55 - Kontron pITX

Mikropočítač Arduino Duemilanove [36]

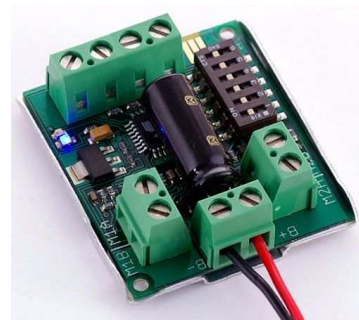
- Přijímá signály z ultrazvukových čidel, přes můstky řídí motory
- 14 digitálních vstupů/výstupů, 6 z nich PWM
- 6 analogových vstupů
- Krystal 16MHz
- Paměť Flash 32 KB, 0,5 KB použito bootloaderem
- Napájení 5V (z USB)



Obr. 56 - Arduino Duemilanove

Můstky k řízení motorů Sabertooth 2X5 [37]

- Napájení motorů 2x 6-18V, 5A trvale, 10A krátkodobě
- Řízení analogovým napětím / servopulzem / sériovým rozhraním
- Ochrana lithiových akumulátorů před nadměrným vybitím
- Rozměry 45x40x13mm

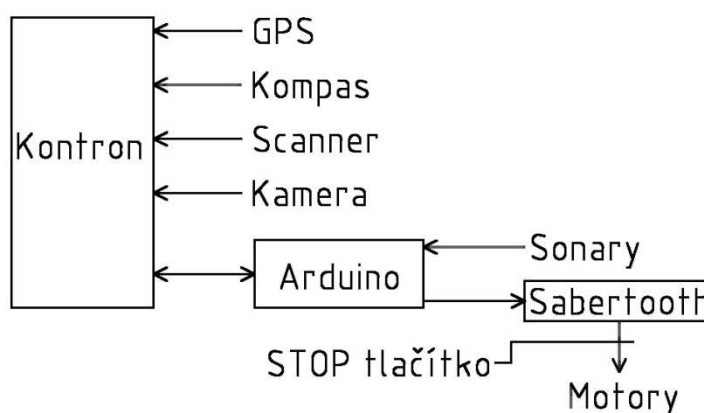


Obr. 57 - Sabertooth 2X5

Další komponenty:

- STOP tlačítko – připojené přímo na vodiče vedoucí od můstků k motorům
- Baterie
 - 14,7 V k napájení motorů
 - 7,4 V k napájení ostatní elektroniky
- Modul ke stabilizaci napětí z baterií

Schéma řízení:



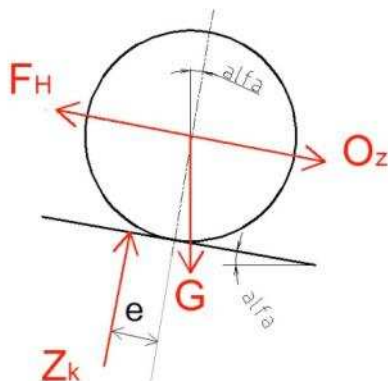
Obr. 58 - Schéma řízení

Samotný řídicí program běží na počítači Kontron [35], který k řízení vybral ing. Tomek. Počítač přímo přes rozhraní USB přijímá a vyhodnocuje informace z GPS, kompasu, laserového scanneru a kamery. Rovněž přes USB je vedena sériová komunikace s modulem Arduino, na kterém běží program přijímající a přeposílající hodnoty ze sonarů a který zároveň pomocí PWM přes můstky Sabertooth řídí motory.

10 Výpočetní část

10.1 Výpočet stoupavosti

Výpočet stoupavosti slouží ke zjištění maximálního úhlu sklonu terénu, do kterého je robot schopen jet a akcelarovat. Jelikož v době provedení výpočtu není známa konečná hmotnost robotu (závislá na hmotnosti senzorického a řídicího subsystému na nástavbě), je výpočet proveden obecně a výsledkem je graf závislosti hmotnost – stoupavost.



Obr. 59 - Výpočet stoupavosti

$$F_k = O_f + O_s + O_z$$

F_k - potřebná hnací síla všech kol (N) - musí překonat všechny jízdní odpory

m_R - hmotnost robotu (kg)

g - gravitační zrychlení (m/s^2)

α_t - úhel stoupání terénu (deg)

$$G = m_R \cdot g$$

G - tíhová síla (N)

$$f_k = \frac{e}{r_k}$$

f_k - součinitel odporu valení

e - rameno valivého odporu (m)

r_k - poloměr kola (m)

$$O_f = m_R \cdot g \cdot f_k \cdot \cos(\alpha_t)$$

O_f - odpor valení kol (N)

$$O_s = m_R \cdot g \cdot \sin(\alpha_t)$$

O_s - odpor stoupání (N)

$$O_z = k_z \cdot O_{zp}$$

O_z - odpor od setrvačnosti posuvných a rotačních členů (N)

k_z - součinitel zohledňující setrvačnost rotačních součástí, volím $k_z=1.2$

$$O_{zp} = m_R \cdot a$$

O_{zp} - odpor od setrvačnosti posuvných členů (N)

Zde je nutno vypočítat požadované zrychlení robotu a:

$$v_{\max} = \omega \cdot r_k = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot r_k = \frac{2 \cdot \pi \cdot 110}{60} \cdot 0.0575$$

v_{\max} - maximální rychlost robotu (m/s)

$$v_{\max} = 0.662 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

n - maximální otáčky kola (1/s)

$$a = \frac{v_{\max}}{t_r} = \frac{0.662}{1.5}$$

a - požadované zrychlení robotu (m/s^2)

$$a = 0.441 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

t_r - uvažovaný čas zrychlení na v_{\max}
volím 1,5 s

po dosazení:

$$F_k = a \cdot k_z \cdot m_R + g \cdot m_R \cdot \sin(\alpha_t) + f_k \cdot g \cdot m_R \cdot \cos(\alpha_t)$$

a:

$$F_k = \frac{M_H}{r_k}$$

M_H - hnací moment všech kol (Nm)

pak:

$$\frac{M_H}{r_k} = a \cdot k_z \cdot m_R + g \cdot m_R \cdot \sin(\alpha_t) + f_k \cdot g \cdot m_R \cdot \cos(\alpha_t)$$

odtud:

$$m_R = \frac{M_H}{r_k \cdot (a \cdot k_z + g \cdot \sin(\alpha_t) + f_k \cdot g \cdot \cos(\alpha_t))}$$

Pro vyjádření je nutno znát koeficienty valivého odporu, které jsou závislé na terénu. Graf je vytvořen pro tři hodnoty: asfalt, polní cesta mokrá, polní cesta suchá.

Tabulka součinitelů valivého odporu pro různé povrchy

Povrch	f_k	Povrch	f_k
Dlažba	0,02 – 0,03	Travnatý terén	0,08 – 0,15
Beton	0,015 – 0,025	Písečný terén	0,15 – 0,30
Asfalt	0,01 – 0,02	Zasněžený terén	0,20 – 0,30
Polní cesta suchá	0,04 – 0,15	Bahnitá půda	0,20 – 0,40
Polní cesta mokrá	0,08 – 0,20	Náledí	0,01 – 0,025

Obr. 60 - Součinitele valivého odporu

Vyjádření do grafu

$$M_H := 4.8 \text{ N} \cdot \text{m} \quad r_k := 0.0575 \text{ m} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad a := 0.441 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad k_Z := 1.2$$

$$f_{k1} := 0.02 \quad \text{asfalt}$$

$$f_{k2} := 0.15 \quad \text{polní cesta suchá}$$

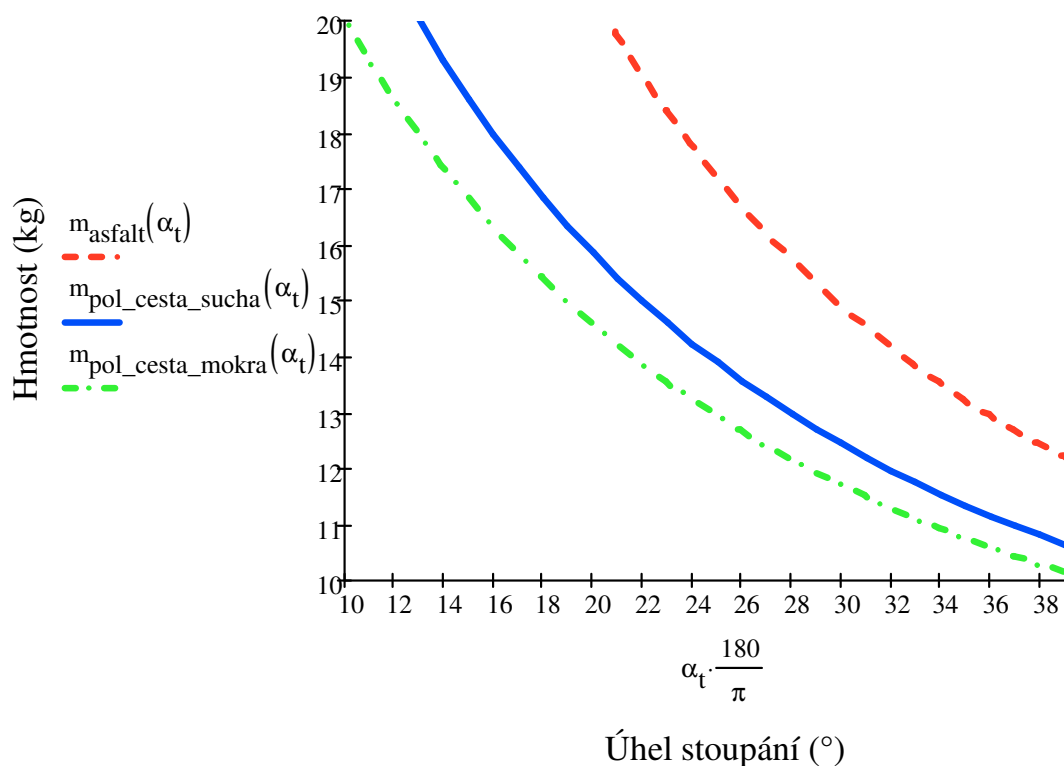
$$f_{k3} := 0.20 \quad \text{polní cesta mokrá}$$

$$\alpha_t := 0 \text{ deg}, 1 \text{ deg} \dots 45 \text{ deg}$$

$$m_{\text{asfalt}}(\alpha_t) := \frac{M_H}{r_k \cdot (a \cdot k_Z + g \cdot \sin(\alpha_t) + f_{k1} \cdot g \cdot \cos(\alpha_t))}$$

$$m_{\text{pol_cesta_sucha}}(\alpha_t) := \frac{M_H}{r_k \cdot (a \cdot k_Z + g \cdot \sin(\alpha_t) + f_{k2} \cdot g \cdot \cos(\alpha_t))}$$

$$m_{\text{pol_cesta_mokra}}(\alpha_t) := \frac{M_H}{r_k \cdot (a \cdot k_Z + g \cdot \sin(\alpha_t) + f_{k3} \cdot g \cdot \cos(\alpha_t))}$$



Graf 2 - Stoupavost

Z grafu 1 lze tedy vyčíst například, že robot o hmotnosti 15 kg může na asfaltu jet a akcelarovat do kopce s úhlem 30°.

10.2 Výpočet maximální výšky překážky

Výpočet maximální výšky překážky slouží ke zjištění, jak vysokou překážku dokáže robot přejet, resp. najet na ni první nápravou. Jelikož v době provedení výpočtu není známa konečná hmotnost robotu (závislá na hmotnosti senzorického a řídicího subsystému na nastavbě), je výpočet proveden obecně a výsledkem je graf závislosti hmotnost – výška překážky.

a) Vyjádření potřebných momentů a sil

$$M_{HS} = M_H - M_R$$

M_{HS} - skutečný hnací moment k dispozici pro překonání překážky (Nm)

M_H - hnací moment všech 6 kol (Nm)

M_R - moment jízdních odporů (Nm)

$$M_R = r_k \cdot (O_f + O_z)$$

$$O_f = Z_k \cdot f_k = m_R \cdot g \cdot f_k$$

$$O_z = k_z \cdot m_T \cdot a$$

po dosazení:

$$M_{HS} = M_H - r_k \cdot m_T \cdot (g \cdot f_k + k_z \cdot a)$$

$$M_{HS1} = \frac{M_{HS}}{3}$$

M_{HS1} - skutečný hnací moment k překonání překážky připadající na 1 nápravu (2 kola) (Nm)

$$M_{HS1} = \frac{M_H}{3} - \frac{m_T \cdot r_k \cdot (a \cdot k_z + f_k \cdot g)}{3} \quad (1)$$

$$M_{HSK} = \frac{M_{HS}}{6}$$

M_{HSK} - skutečný hnací moment k překonání překážky připadající na 1 kolo (Nm)

$$F_{HSK} = \frac{M_{HSK}}{r_k}$$

F_{HSK} - skutečná hnací síla jednoho kola (N)

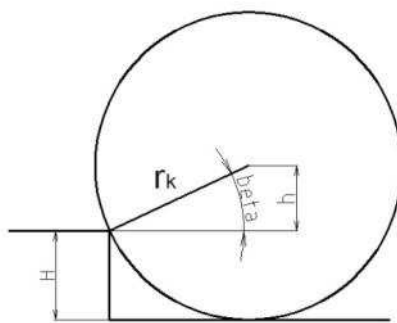
$$F_{HS2} = 4 \cdot F_{HSK}$$

F_{HS2} - skutečná hnací síla dvou náprav (4 kola) (N)

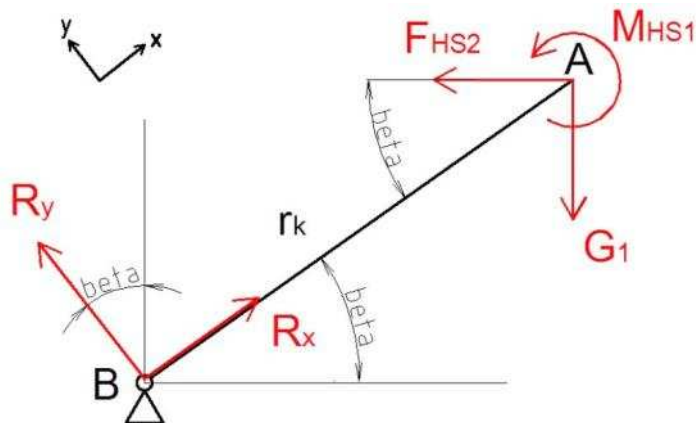
$$F_{HS2} = \frac{\frac{2 \cdot M_H}{3} - \frac{2 \cdot m_T \cdot r_k \cdot (a \cdot k_z + f_k \cdot g)}{3}}{r_k}$$

b) Rovnice momentové rovnováhy

Při výpočtu maximální výšky překážky, kterou je robot schopen přejet, se vychází z polohy, kdy se kolo opírá o překážku a robot je ještě v klidu a stojí na zemi. V okamžiku, kdy se začne z klidu zvedat, musí pohon působit největší silou [2]. Schéma na Obr. 61 lze interpretovat také jako páku kloubově uchycenou v místě dotyku kola s překážkou - Obr. 62. Konstanty a proměnné, které byly popsány v předchozí podkapitole, již nebudou popisovány v této.



Obr. 61 - Schéma nájezdu na překážku



Obr. 62 - Schéma pro rovnice rovnováhy

Lze vyjádřit rovnici momentové rovnováhy k bodu B:

$$\sum M_B = 0$$

$$M_{HS1} + F_{HS2} \cdot \sin(\beta) \cdot r_k - G_1 \cdot \cos(\beta) \cdot r_k = 0$$

c) Vyjádření potřebné závislosti hmotnost – výška překážky

Z předchozího vztahu lze vyjádřit:

$$M_{HS1} = G_1 \cdot r_k \cdot \cos(\beta) - F_{HS2} r_k \cdot \sin(\beta)$$

kde:

$$G_1 = \frac{m_T \cdot g}{3}$$

G_1 - tíhová síla připadající na jednu nápravu (N)

pak po dosazení ze vzorce (1):

$$\frac{M_H}{3} - \frac{m_T \cdot r_k \cdot (a \cdot k_Z + f_k \cdot g)}{3} = \frac{m_T \cdot g}{3} \cdot r_k \cdot \cos(\beta) - F_{HS2} r_k \cdot \sin(\beta)$$

a vztahů pro úhly:

$$\sin(\beta) = \frac{r_k - H}{r_k} \quad \cos(\beta) = \sqrt{1 - \left(\frac{r_k - H}{r_k} \right)^2}$$

dostaneme:

$$\frac{M_H}{3} - \frac{m_T \cdot r_k \cdot (a \cdot k_Z + f_k \cdot g)}{3} = \frac{m_T \cdot g}{3} \cdot r_k \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{r_k - H}{r_k} \right)^2} - \frac{\frac{2 \cdot M_H}{3} - \frac{2 \cdot m_T \cdot r_k \cdot (a \cdot k_Z + f_k \cdot g)}{3}}{r_k} \cdot r_k \cdot \frac{r_k - H}{r_k}$$

a odtud:

$$m_R = \frac{2 \cdot H \cdot M_H - 3 \cdot M_H \cdot r_k}{g \cdot r_k^2 \cdot \sqrt{\frac{H^2 - 2 \cdot H \cdot r_k}{r_k^2} + 3 \cdot a \cdot k_Z \cdot r_k^2 + 3 \cdot f_k \cdot g \cdot r_k^2 - 2 \cdot H \cdot a \cdot k_Z \cdot r_k - 2 \cdot H \cdot f_k \cdot g \cdot r_k}}$$

To je hledaná závislost hmotnosti m_R na maximální výšce překážky H .

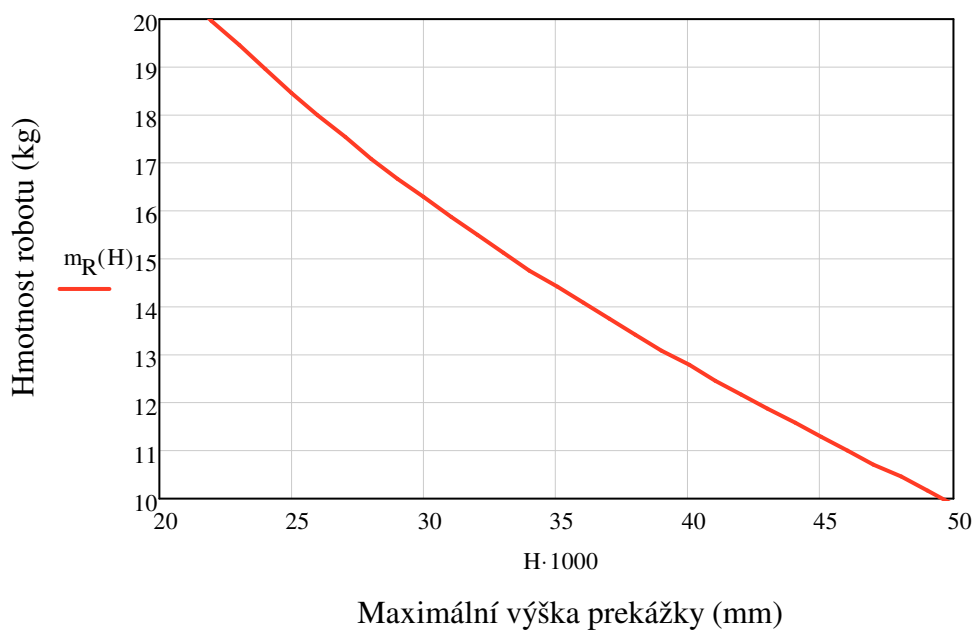
d) Graf:

$$m_R = \frac{2 \cdot H \cdot M_H - 3 \cdot M_H \cdot r_k}{g \cdot r_k^2 \cdot \sqrt{\frac{H^2 - 2 \cdot H \cdot r_k}{r_k^2} + 3 \cdot a \cdot k_Z \cdot r_k^2 + 3 \cdot f_k \cdot g \cdot r_k^2 - 2 \cdot H \cdot a \cdot k_Z \cdot r_k - 2 \cdot H \cdot f_k \cdot g \cdot r_k}}$$

$$M_H := 4.8 \quad a := 0.441 \quad f_k := 0.02 \quad r_k := 0.0575 \quad k_Z := 1.2 \quad g := 9.81$$

$$H := 0.001, 0.002 \dots 0.06$$

$$m_R(H) := \frac{2 \cdot H \cdot M_H - 3 \cdot M_H \cdot r_k}{g \cdot r_k^2 \cdot \sqrt{\frac{H^2 - 2 \cdot H \cdot r_k}{r_k^2} + 3 \cdot a \cdot k_Z \cdot r_k^2 + 3 \cdot f_k \cdot g \cdot r_k^2 - 2 \cdot H \cdot a \cdot k_Z \cdot r_k - 2 \cdot H \cdot f_k \cdot g \cdot r_k}}$$



Graf 3 - Maximální výška překážky

Z grafu lze vyčíst například, že robot o hmotnosti 15 kg přejede překážku o výšce 36 mm.

11 Realizace

Byly nakoupeny hliníkové profily ITEM 5 20x20 L 20x20x2 profily, panty a spojovací materiál. Byly vypáleny příruby kol a systémem Rapid Prototyping [29] vytisknuty patky k uchycení nástavby. ITEM a L profily byly nařezány na příslušné délky, čela byla zfrézována na kolmo, následně byly odvrtány. Na sebe dosedající hrany pantů bylo nutno opilovat – měly otřepy, zřejmě způsobené výrobní technologií, které bránily v bezchybném otáčení.

Podvozek byl sestaven a předán k instalaci a testování elektroniky.

Problémy a jejich řešení:

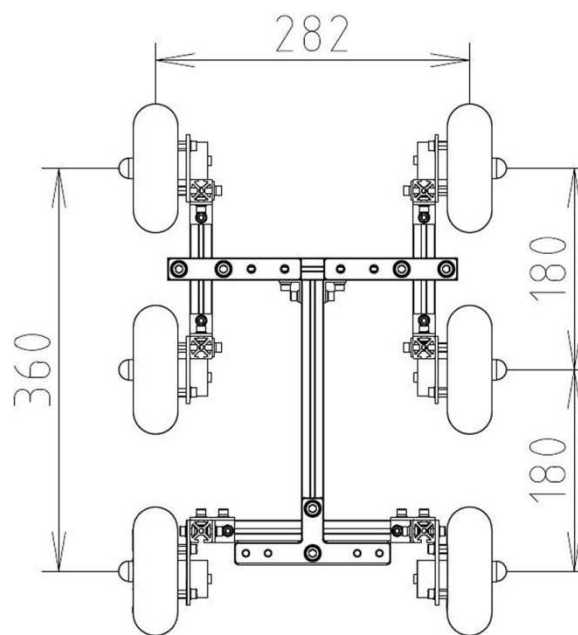
Během testů se ukázalo, že podvozek je příliš úzký a i přes poměrně vysoký krouticí moment kol není schopen otáčení smykem na místě. Vyskytly se také problémy se samotnou kinematikou podvozku – prostřední kola se „předbíhala“ a zvedala na rámu Bogie kola přední.

Vzhledem k blížící se soutěži, kdy musí být robot schopen alespoň jezdit, aby se mohlo pracovat na řídicím programu, bylo navrženo a realizováno prozatímní řešení. Podvozek bude smontován na pevno (bez otočných pantů) a rozšířen. Díky modularitě podvozku to nebyl problém. Byl navržen téměř čtvercový půdorys (Obr. 65), čímž se docílí většího momentu otáčejícího robot smykem kolem svislé osy, který musí vnější čtyři kola „smýknout“ po povrchu.

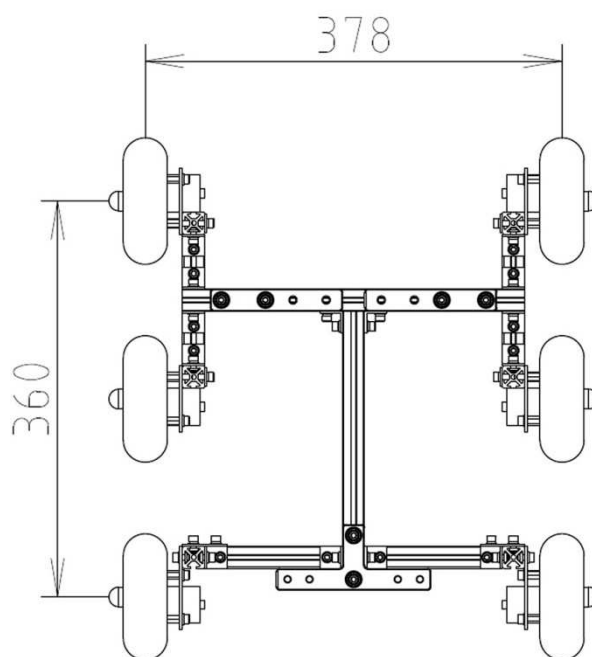
Byl opět nakoupen profil ITEM 5 20x20 k rozšíření rámu a profil L 20x20x2 pro dodatečné úhelníkové spoje. Byly opět nařezány, zfrézovány a odvrtány. Do ITEM profilů se tentokrát nevrátilo – všechny spoje jsou řešeny úhelníkovými spoji s čtvercovými maticemi a plně modifikovatelné, včetně uchycení patek.



Obr. 63 - Pevný rám



Obr. 64 - Původní verze



Obr. 65 - Rozšířená verze

12 Závěr

Na základě analýzy požadavků na mobilní robot pro soutěže v parku byly navrženy tři varianty řešení. Prioritou všech je minimální cena, jednoduchost, spolehlivost a použití šesti kol s integrovaným pohonem GM37-110. Pomocí hodnotové analýzy byla vybrána optimální varianta – podvozek typu Rocker- Bogie.

Tato varianta podvozku byla rozpracována a byly popsány základní konstrukční celky. Výhodou tohoto podvozku je kinematika kol, která nepotřebuje žádné pružící prvky a hmotnost je při ideální poloze těžiště nastavby rovnoměrně rozdělena na všechna kola. V případě problémů s kinematikou podvozku je možno jej jednoduše přestavět na klasický pevný. Podvozek má nastavitelnou světlou výšku v rozsahu 35 mm. Rám je sestaven z profilů ITEM 5 20x20 mm, spoje jsou šroubové a plně nastavitelné. Díky tomu je podvozek maximálně modulární.

Byl navržen senzorický a řídicí subsystém robotu s ohledem na plnou autonomii.

Dále byly provedeny výpočty stoupavosti podvozku a maximální výšky překážky, kterou je robot schopen vyjet se zakoupenými koly s daným krouticím momentem. Výsledkem výpočtů jsou grafy závislostí veličin na hmotnosti robotu, která v době výpočtů není přesně známá.

Byl vytvořen 3D model podvozku v grafickém programu PRO/Engineer Wildfire 5 [Příloha C] a výkresová dokumentace v programu AutoCad [Přílohy A, B]. S pomocí programů PRO/Engineer a Windows Live Movie Maker byla vytvořena animace jízdy v terénu [Příloha D].

Byly splněny všechny body zadání bakalářské práce a požadavkového listu.

Byly nakoupeny komponenty a podvozek byl realizován. Během jízdních testů prototypu se ukázalo, že se prostřední kola „předbíhají“ a zdvihají kola přední a podvozek špatně zatáčí, protože je příliš úzký. Tyto problémy byly, vzhledem k blížící se soutěži, vyřešeny rozšířením podvozku a dočasným odstraněním pantů a smontováním na pevně.

K dalšímu rozpracování se tedy nabízí vyřešení problému s „předbíháním“ prostředních kol a to buď řízením, nebo mechanicky. Řešení řízením může vypadat například tak, že se prostřední kola budou v kritických situacích (nebo neustále) zpožďovat za ostatními. To by však vyžadovalo dodatečné senzory, které vyhodnotí, kdy ona kritická situace nastane a rozliší ji např. od nájezdu na překážku. Mechanicky může být problém vyřešen například instalací odpružení rámu Bogie. K dalšímu zlepšení zatáčecích vlastností podvozku může být navrženo natáčení krajních kol.

13 Citovaná literatura

- [1]. **Novák, P.** *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Praha : BEN Praha, 2005. ISBN 80-7300-141-1.
- [2]. **Kárník, L.** *Servisní roboty*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0626-6.
- [3]. **Kárník, L., Knoflíček, R. a Marcinčin, J. N.** *Mobilní roboty*. Opava : Máfry Slezsko, 2000. ISBN 80-902746-2-5.
- [4]. **Skařupa, Jiří.** *Metodika konstruování*. Ostrava : Skripta VŠB Ostrava, 1993. ISBN 80-7078-167-X .
- [5]. ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory. Praha : Český normalizační institut, 1997.
- [6]. ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha : Český normalizační institut, 1996.
- [7]. Robocup Competitions. *Robocup 2010*. [Online] [Citace: 20. říjen 2010.] <http://www.robocup2010.org/competitions.php>.
- [8]. A Brief History of RoboCup. *Robocup*. [Online] [Citace: 20. říjen 2010.] <http://www.robocup.org/about-robocup/a-brief-history-of-robocup/bocuprescue.org/>.
- [9]. Robocup Rescue Home. [Online] [Citace: 20. říjen 2010.] <http://www.robocuprescue.org/>.
- [10]. *RobotChallenge: Home*. [Online] [Citace: 20. říjen 2010.] <http://www.robotchallenge.org/>.
- [11]. Eurobot 2011. *Katedra softwarového inženýrství*. [Online] [Citace: 20. říjen 2010.] <http://www.eurobot.cz/>.
- [12]. Eurobot. *robotika.cz*. [Online] [Citace: 30. říjen 2010.] <http://robotika.cz/competitions/eurobot/cs>.
- [13]. Tasks during the 2009 Field Robot Event. *Fieldrobot*. [Online] [Citace: 20. říjen 2010.] <http://www.fieldrobot.nl>.
- [14]. Grand Challenge 2005. *Robotika.cz*. [Online] [Citace: 20. říjen 2010.] <http://robotika.cz/competitions/grandchallenge/2005/cs>.

- [15]. Welcome. *Darpa*. [Online] [Citace: 20. říjen 2010.]
<http://www.darpa.mil/grandchallenge/index.asp>.
- [16]. Mini Grand Challenge. *Penn State Abington*. [Online] [Citace: 20. říjen 2010.]
<http://www.cede.psu.edu/users/avanzato/robots/contests/outdoor/index.htm#Objectives>
and History:.
- [17]. Istrobot 2010. *Robotika.sk*. [Online] [Citace: 20. říjen 2010.]
<http://www.robotika.sk/contest/2010/index.php#pravidla>.
- [18]. The 2010 Icra Robot Challenge. [Online] [Citace: 30. říjen 2010.]
<http://icra.wustl.edu/>.
- [19]. 2010 Mobile Manipulation Challenge. *Willow Garage*. [Online] [Citace: 30. říjen 2010.]
<http://www.willowgarage.com/mmc10>.
- [20]. Virtual Manufacturing Automation Challenge. [Online] [Citace: 30. říjen 2010.]
<http://icra.wustl.edu/?q=2010vmac>.
- [21]. Planetary Robotic Contingency. [Online] [Citace: 30. říjen 2010.]
- [22]. Microrobotics Challenge. *NIST*. [Online] [Citace: 30. říjen 2010.]
<http://www.nist.gov/pml/semiconductor/mmc/>.
- [23]. IMAV 2010 Flight Competition Mission Description and Rules. [Online] [Citace: 1. listopad 2010.]
http://www.imav2010.org/Mission_Discription_and_Rules_IMAV_2010.pdf.
- [24]. Robotour 2009 - soutěž outdoorových robotů. *Scienceworld*. [Online] [Citace: 20. říjen 2010.]
<http://scienceworld.cz/technologie/robotour-2009-soutez-outdoorovych-robotu-5380>.
- [25]. Roboorienteering pravidla. [Online] [Citace: 20. říjen 2010.]
<http://www.vosrk.cz/roboorienteeing/index.php?stranka=pravidla>.
- [26]. Robotem Rovně 2010. *Kufr*. [Online] [Citace: 20. říjen 2010.]
<http://www.kufr.cz/view.php?cislocclanku=2010020002>.
- [27]. FIRA. [Online] [Citace: 21. říjen 2010.] <http://www.fira.net>.
- [28]. GM37-520TB-52.5 GEAR MOTOR. *Rasel*. [Online] [Citace: 10. Květen 2011.]
<http://www.rasel.cz/www/prilohy/gm37-52.5.pdf>.

- [29]. Rapid Prototyping. *Katedra robototechniky*. [Online] [Citace: 15. květen 2011.] <http://robot.vsb.cz/rapid-prototyping/>.
- [30]. URG-04LX-UG01. *Hokuyo*. [Online] [Citace: 10. květen 2011.] http://www.hokuyo-aut.jp/02sensor/07scanner/urg_04lx_ug01.html.
- [31]. SRF08. *Snail Instruments*. [Online] [Citace: 10. Květen 2011.] http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&products_id=194.
- [32]. BU-353, venkovní GPS přijímač SiRF III s USB 2.0 rozhraním pro PC. *KPZ Electronics, s.r.o.* [Online] [Citace: 10. Květen 2011.] <http://www.ekpz.cz/bu-353-venkovni-gps-prijimac-sirf-iii-s-usb-20-rozhranim-pro-pc.html>.
- [33]. CMPS03. *Snail Instruments*. [Online] [Citace: 10. Květen 2011.] http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&products_id=198.
- [34]. Logitech HD Webcam C910. *AZeлектро*. [Online] [Citace: 10. Květen 2011.] <http://www.az-elektro.cz/webkamery/logitech-logitech-hd-webcam-c910-full-hd>.
- [35]. pITX. *Kontron*. [Online] [Citace: 10. Květen 2011.] <http://cz.kontron.com/pitx/>.
- [36]. Arduino Duemilanove. *Snail Instruments*. [Online] [Citace: 10. Květen 2011.] http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&cPath=68_134&products_id=479.
- [37]. Sabertooth 2X5. *Snail Instruments*. [Online] [Citace: 10. Květen 2011.] http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&cPath=68_69&products_id=384.

14 Seznam příloh

- [Příloha A] Výkresová dokumentace – sestavný výkres, kusovník
(mzi009-bak-s1, mzi009-bak-k)
- [Příloha B] Výkresová dokumentace – výrobní výkresy přírub kol
(mzi009-bak-v1, mzi009-bak-v2)
- [Příloha C] 3D model podvozku (CD)
- [Příloha D] Animace jízdy v terénu (CD)